



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
INGENIERÍA

# Aplicación de la Teoría de las Restricciones en la cadena de suministro

Informe de Proyecto de Grado presentado por

Rodrigo Ávila, Carlos Dutra da Silveira y Gonzalo Univaso

en cumplimiento parcial de los requerimientos para la graduación de la carrera de Ingeniería de  
Producción de Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República

Tutores

Raúl Bianchi  
Adrián Ferrari

Montevideo, 1 de noviembre de 2023



Aplicación de la Teoría de las Restricciones en la cadena de suministro por Rodrigo Ávila, Carlos Dutra da Silveira y Gonzalo Univaso tiene licencia CC Atribución 4.0.

# Agradecimientos

*A Raúl Bianchi y Adrián Ferrari, tutores del proyecto, por su apoyo y ayuda constante a lo largo de todo este proceso, disponiendo todos sus conocimientos para alcanzar el mejor resultado.*

*A Fanacif S.A., representada en Daniel Giménez, por toda la información brindada para la aplicación de la metodología desarrollada.*

*A Rodrigo Ríos de Cabezas Bier y Mariana González y Gustavo Bisogno de Strong S.A., quienes nos cedieron su tiempo para presentarnos las problemáticas puntuales de sus compañías.*

*A Analía Planchón, Javier Galván y Marcel Barceló de CLC, quienes nos recibieron en su empresa y aportaron material necesario para el desarrollo del proyecto.*

*Por último, y no menos importante, a nuestras familias y amigos, quienes nos acompañaron y apoyaron en el transcurso de nuestro ciclo estudiantil.*



# Resumen ejecutivo

En este informe se aborda la aplicación de la Teoría de las Restricciones (TOC) en la cadena de suministro. Esta teoría es una estrategia clave para mejorar el Retorno de la Inversión y la Rentabilidad a través de la optimización de la gestión de inventarios y las compras. TOC, una metodología exitosa con más de 30 años de aplicación en empresas de todo el mundo, se utiliza aquí para identificar y abordar las deficiencias en el flujo de materiales y el almacenamiento.

Para el desarrollo del proyecto, se releva y analiza la literatura encontrada sobre la temática para posteriormente aplicarla en un caso práctico en la empresa Fanacif S.A., dedicada a la manufactura y comercialización de pastillas, bloques, rollos y cintas de frenos para vehículos livianos y pesados.

Fanacif enfrenta desafíos significativos en su gestión de inventarios y compras, lo que resulta en un exceso de insumos en su almacén de fábrica. Estos problemas afectan la capacidad de respuesta de su cadena de suministro, generando costos adicionales y disminuyendo la satisfacción de la demanda de producción.

El proyecto propone una metodología que incluye la identificación de restricciones, el diseño de políticas y procedimientos, la optimización de la gestión de compras y el ajuste de los niveles de inventario. Se esperan resultados como una mayor eficiencia operativa, niveles de inventario optimizados, liberación de capital atrapado en inventarios, una mejor coordinación con proveedores, mayor satisfacción de la demanda de producción y, en última instancia, un aumento en la rentabilidad.

A su vez, mediante una simulación, se comparan los resultados obtenidos entre dos situaciones: una situación real en base a datos relevados de consumos y compras de materias primas vs. una situación hipotética de gestión del inventario siguiendo la metodología desarrollada en base a la Teoría de las Restricciones. Luego, se realiza un análisis de sensibilidad de los diversos parámetros utilizados en el modelo desarrollado para verificar el impacto y criticidad de cada uno de ellos.

En resumen, la aplicación de la Teoría de las Restricciones en la gestión de inventarios y compras de Fanacif representa una estrategia esencial para superar los desafíos actuales y mejorar el rendimiento de la cadena de suministro. Con un enfoque centrado en la aplicación de TOC, Fanacif estará en una posición más sólida tanto a nivel operativo como competitivo. TOC ha demostrado ser una metodología exitosa en todo el mundo durante más de 30 años, y su aplicación aquí tiene el potencial de generar resultados significativos.

**Palabras clave:** Teoría de las Restricciones, DBR-simplificado, Demand Driven, logística, cadena de suministro, inventario, gastos operativos, gestión de compras, optimización



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco teórico</b>	<b>3</b>
2.1. Cadena de suministros . . . . .	3
2.2. Inventarios . . . . .	3
2.2.1. Métodos de almacenamiento . . . . .	4
2.2.2. Gestión de inventarios . . . . .	5
2.2.3. Clasificación ABC . . . . .	7
2.2.4. Costos logísticos . . . . .	8
2.3. Gestión de compras . . . . .	8
2.4. Teoría de las Restricciones . . . . .	9
2.4.1. Indicadores de desempeño en TOC . . . . .	10
2.4.2. Metodología DBR (Drum-Buffer-Rope) tradicional . . . . .	12
2.4.3. Metodología S-DBR (DBR simplificado) . . . . .	14
2.5. Demand Driven . . . . .	15
2.6. Sistemas de fabricación . . . . .	17
<b>3. Definición del problema (estudio de caso)</b>	<b>19</b>
3.1. Cabezas Bier . . . . .	19
3.2. Fanacif S.A. . . . .	20
3.2.1. Sistemas de frenado . . . . .	21
3.2.2. Visita a Fanacif . . . . .	23
<b>4. Metodología de resolución</b>	<b>27</b>
<b>5. Relevamiento y generación de datos</b>	<b>33</b>
5.1. Cierres de planta . . . . .	35
5.2. Aplicación del modelo . . . . .	35
5.3. Costos asociados . . . . .	37
5.4. Materias primas combinadas . . . . .	38
5.5. Herramientas utilizadas . . . . .	39
<b>6. Análisis de resultados</b>	<b>41</b>
6.1. Clasificación ABC . . . . .	42
6.2. Situación real . . . . .	42
6.3. Modelo base . . . . .	48
<b>7. Análisis de sensibilidad</b>	<b>61</b>
7.1. Frecuencia de pedido . . . . .	61
7.2. Tamaño de lote . . . . .	67
7.3. Ventana de tiempo del amortiguador . . . . .	72
<b>8. Propuestas de trabajos futuros</b>	<b>77</b>
<b>9. Conclusiones</b>	<b>79</b>

**Anexo** **85**  
.1. Clasificación ABC . . . . . 85

# Índice de figuras

2.1. Actores de una cadena de suministro . . . . .	4
2.2. Estrategias de almacenamiento . . . . .	5
2.3. Cinco pasos de la Teoría de las Restricciones . . . . .	10
2.4. Buffer de envío . . . . .	13
2.5. Buffer CCR . . . . .	13
2.6. Buffer amortiguador . . . . .	14
2.7. Variación del amortiguador . . . . .	15
2.8. Modelo DDMRP . . . . .	16
3.1. Logo de Cabezas Bier . . . . .	19
3.2. Producto Cabezas Bier . . . . .	20
3.3. Vista área de Fanacif S.A. . . . .	21
3.4. Logo de Fanacif . . . . .	21
3.5. Sistema de frenos de tambor y de disco . . . . .	22
3.6. Cinta, zapata y rollo de frenos . . . . .	22
3.7. Zapata de bloque y bloques de freno . . . . .	22
3.8. Pastilla de freno . . . . .	23
3.9. Flujo de procesos en Fanacif . . . . .	24
3.10. Cantidad SKUs por país . . . . .	25
4.1. Escala de colores del inventario. . . . .	28
5.1. Ejemplo: quiebres no reflejados . . . . .	38
6.1. Stock total promedio valorizado y demanda acumulada valorizada por trimestre (real) . . . . .	43
6.2. Promedio de disponibilidad de materias primas (real) . . . . .	45
6.3. Exceso de inventario y stock total valorizado (real) . . . . .	46
6.4. Semáforo amortiguador y stock total real (MP1) . . . . .	47
6.5. Semáforo amortiguador y stock total real (MP40) . . . . .	47
6.6. Comienzo de simulación (MP22) . . . . .	49
6.7. Stock físico valorizado (modelo base) . . . . .	50
6.8. Comparación de stock total en unidades entre situación real y modelo . . . . .	51
6.9. Stock total valorizado - Evolución mensual del promedio diario (real vs. modelo base) . . . . .	51
6.10. Entradas por país en unidades diferenciadas por país y situación (real vs. modelo base) . . . . .	52
6.11. Disponibilidad media mensual (modelo base) . . . . .	55
6.12. Costo de quiebre (modelo base) . . . . .	56
6.13. Costos totales (real vs. modelo base) . . . . .	57
6.14. Comparación del exceso de inventario valorizado total (real vs. modelo base) . . . . .	57
6.15. Semáforo amortiguador y comparación de stock total (MP1 - Real vs. modelo base) . . . . .	58
6.16. Semáforo amortiguador y comparación de stock total (MP40 - Real vs. modelo base) . . . . .	59
7.1. Stock total valorizado - Simulaciones frecuencia de pedido . . . . .	62
7.2. Disponibilidad - Simulaciones frecuencia de pedido . . . . .	63
7.3. Exceso de inventario - Simulaciones frecuencia de pedido . . . . .	64
7.4. Costos totales - Simulaciones frecuencia de pedido . . . . .	65
7.5. Semáforo amortiguador y comparación de stock total (MP1) con FP = 28 días . . . . .	66
7.6. Stock total valorizado - Simulaciones lote mínimo . . . . .	68

7.7. Stock total valorizado (% variación) - Simulaciones lote mínimo . . . . .	68
7.8. Disponibilidad - Simulaciones lote mínimo . . . . .	69
7.9. Exceso de inventario - Simulaciones lote mínimo . . . . .	69
7.10. Costos totales - Simulaciones lote mínimo . . . . .	70
7.11. Semáforo amortiguador y comparación de stock total (MP40) con lotes mínimos . . . . .	71
7.12. Amortiguadores - Simulaciones ventana de amortiguador . . . . .	72
7.13. Stock total valorizado - Simulaciones ventana de amortiguador . . . . .	73
7.14. Disponibilidad - Simulaciones ventana de amortiguador . . . . .	74
7.15. Exceso de inventario - Simulaciones ventana de amortiguador . . . . .	74

# Índice de tablas

4.1. Ejemplo - Demanda de una materia prima . . . . .	29
4.2. Ejemplo - Construcción de la suma móvil de la demanda . . . . .	30
4.3. Ejemplo - Obtención del máximo valor de la suma móvil en la ventana . . . . .	30
4.4. Ejemplo - Construcción del amortiguador . . . . .	30
4.5. Ejemplo de simulación aplicada a una materia prima . . . . .	31
4.6. Ejemplo de parámetros y variables utilizadas en el análisis comparativo . . . . .	32
5.1. Ejemplo de entradas de mercadería . . . . .	33
5.2. Ejemplo de salidas de mercadería . . . . .	33
5.3. Inventario base . . . . .	34
5.4. Ejemplo Tabla Stock en tránsito . . . . .	34
5.5. Ejemplo proveedores . . . . .	35
5.6. Ejemplo amortiguadores . . . . .	35
5.7. Ejemplo aplicación del modelo . . . . .	36
5.8. Margen por línea en dólares americanos . . . . .	38
6.1. Materias primas por país de origen . . . . .	42
6.2. Media de meses de inventario físico de materias primas con clasificación A (real) . . . . .	44
6.3. Media de meses de inventario físico por categoría (real) . . . . .	44
6.4. Retorno de la inversión (real) . . . . .	44
6.5. Disponibilidad anual promedio por categoría (real) . . . . .	45
6.6. Asignación de factores de confiabilidad . . . . .	49
6.7. Media de meses de inventario físico de MP con clasificación A (real vs. modelo base) . . . . .	53
6.8. Media de meses de inventario físico por categoría (real vs. modelo base) . . . . .	53
6.9. Retorno de la inversión - Modelo base . . . . .	54
6.10. Retorno de la inversión - Real vs. modelo base . . . . .	54
6.11. Retorno de la inversión - Modelo base . . . . .	54
6.12. Retorno de la inversión proyectado - Real vs. modelo base . . . . .	55
6.13. Disponibilidad media por año (modelo base) . . . . .	55
6.14. Distribución de costos (en \$) en el modelo base y caso real . . . . .	56
6.15. Comparación del exceso de inventario valorizado . . . . .	58
7.1. Meses de inventario físico en MP con clasificación A - Simulaciones frecuencia de pedido . . . . .	66
7.2. Meses de inventario físico en MP con clasificación B - Simulaciones frecuencia de pedido . . . . .	66
7.3. Meses de inventario físico en MP con clasificación C - Simulaciones frecuencia de pedido . . . . .	67
7.4. Media de meses de inventario físico por categoría con lotes mínimos . . . . .	71
7.5. Diferencia porcentual de meses de inventario entre modelo base y lotes mínimos . . . . .	71
7.6. Media de meses de inventario físico por categoría y ventana de amortiguador . . . . .	75
1. Clasificación de materias primas según criterio ABC . . . . .	85



# Capítulo 1

## Introducción

La gestión de inventarios y compras es un área de vital importancia en cualquier empresa, ya que afecta directamente en los costos, eficiencia operativa y la capacidad de respuesta a la demanda. En el contexto empresarial, hoy en día, las organizaciones modernas se encuentran en un entorno de alta competitividad, en el cual, la optimización de la logística y una gestión eficiente del inventario son factores claves para el éxito. La Teoría de las Restricciones se presenta como una herramienta valiosa para mejorar las estrategias de reabastecimiento.

La Teoría de las Restricciones (TOC), desarrollada inicialmente por Eliyahu M. Goldratt [Goldratt Institute \[2017\]](#), entre la década de los 80' y los 90', es una metodología de gestión que busca actuar ante los cuellos de botella o restricciones que limitan el desempeño de una organización. Se basa en la idea de que un sistema complejo, como lo es una organización, está sometido y limitado por un número reducido de restricciones, las cuales deben ser identificadas y tratadas para mejorar el rendimiento general.

Este proyecto se enfoca en el tratamiento de la implementación de los conceptos y principios de la Teoría de las Restricciones en la logística de Fanacif, una empresa especializada en la fabricación y venta de componentes de fricción para el sistema de frenado de vehículos.

La elección de Fanacif como caso de estudio se debe a la relevancia que tiene dentro de la industria de fabricación de autopartes, específicamente de componentes de fricción, así como la buena predisposición a mejorar su operativa con nuevas metodologías. Debido a la falta de producción minera que presenta Uruguay, Fanacif se ve obligada a importar materiales, en su mayoría desde Brasil y China, por lo que resulta importante poder desarrollar mejoras en la gestión de compras y de inventario.

Ante este impedimento y las complicaciones que implica gestionar el inventario en una empresa, se plantea crear una simulación de gestión de inventario utilizando los conceptos y la metodología de la Teoría de las Restricciones. El objetivo principal de este proyecto es evaluar la viabilidad y analizar los posibles beneficios de aplicar TOC a una cadena de suministro, como la reducción de quiebres de stock, disminución de niveles de inventario y el ahorro de costos asociados al inventario. Esto a través de la determinación y utilización de un mecanismo de protección ante la variación e incertidumbre como son los amortiguadores. Estos amortiguadores no deben ser estáticos, sino que deben ajustarse según los cambios que puedan existir en características del producto o de sus proveedores. Los amortiguadores serán construidos como inventario, y serán quienes protejan la venta de la variabilidad en la demanda y el suministro, para cada una de las materias primas utilizadas.

Para poder llevar a cabo con éxito la aplicación de los fundamentos de TOC, se plantean las siguientes etapas:

- Realizar un relevamiento del marco teórico de la temática relacionada al proyecto.
- Analizar el estado actual de la gestión de inventarios y compras de Fanacif, buscando e identificando puntos críticos.
- Diseñar una estrategia de gestión de inventarios y compras basada en los principios de TOC.

- Implementar la estrategia propuesta y evaluar los resultados en cuanto a eficiencia, costos y capacidad de respuesta frente a la demanda.

Finalmente, resulta importante destacar que esta investigación está sujeta a ciertas limitaciones, como el alcance del estudio en una única empresa y la confidencialidad de algunos datos a pedido de la organización. No obstante, se busca llegar a resultados claros, formando una base sólida para futuras investigaciones.

Los siguientes Capítulos de este proyecto son: marco teórico, definición del problema (estudio de caso), metodología de resolución, relevamiento y generación de datos, análisis de resultados, análisis de sensibilidad, propuestas de trabajos futuros y conclusiones.

# Capítulo 2

## Marco teórico

El objetivo de este Capítulo es brindar un marco de referencia sobre las diferentes temáticas vinculadas al proyecto. La organización del Capítulo permite recorrer los distintos puntos tratados a lo largo del documento, en carácter teórico. A continuación, se presentan los principales temas que abarcan el enfoque global del proyecto.

### 2.1. Cadena de suministros

Según [Schroeder et al. \[2011\]](#), la cadena de suministro es una red interconectada de operaciones de manufactura y servicios que se encargan de abastecerse mutuamente con materias primas, realizar procesos de producción y finalmente entregar los productos al consumidor final. Se compone de flujos físicos de materiales, dinero e información que se extienden a lo largo de toda la cadena de compras, producción y distribución. La cadena de suministro es un conector entre las diversas organizaciones que la componen.

En [Schroeder et al. \[2011\]](#), se destaca que la gestión de la cadena de suministro implica la integración de proveedores, productores y clientes. Además, requiere que todos los administradores consideren el flujo completo de materiales, información y dinero a lo largo de la cadena, desde la adquisición de materias primas hasta la producción y distribución a los clientes finales.

En la Figura 2.1 se muestran los distintos actores de una cadena de suministro común, incluyendo proveedores, plantas de manufactura, almacenes y sitios minoristas. Al verse involucradas distintas compañías (en la gran mayoría de los casos), los autores mencionan que una cadena de suministro es un conjunto de entidades y relaciones que, de manera acumulativa, determinan los materiales y los flujos de información tanto de modo descendente hacia el cliente como ascendente hacia el primer proveedor.

Por otra parte, [Ballou \[2004\]](#) define a la cadena de suministros como el conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor.

A su vez, la vincula fuertemente con la logística considerando que, dado que las fuentes de materias primas, las fábricas y los puntos de venta normalmente no están ubicados en los mismos lugares y el canal de flujo representa una secuencia de pasos de manufactura, las actividades de logística se repiten muchas veces antes de que un producto llegue a su lugar de mercado.

### 2.2. Inventarios

Según [Ballou \[2004\]](#), los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa. Tener estos inventarios disponibles puede costar, al año,

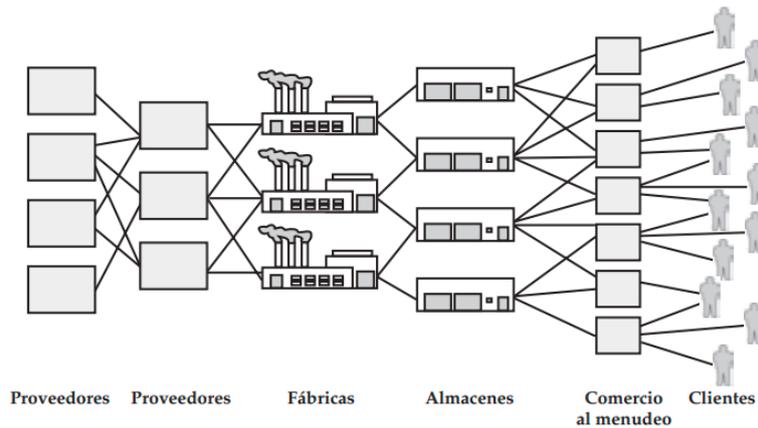


Figura 2.1: Actores de una cadena de suministro  
[Schroeder et al. \[2011\]](#)

entre 15 % y 40 % de su valor. Por lo tanto, administrar cuidadosamente los niveles de inventario tiene un buen sentido económico.

Como explica el autor, los principales argumentos para mantener los inventarios se relacionan con el servicio de cara al cliente y con reducir indirectamente costos de operación, por ejemplo, permitiendo largos períodos de producción. También, es posible justificar el aumento de inventarios mediante la obtención de beneficios por compras de mayores cantidades. En contrapartida, el principal argumento en contra del mantenimiento de inventarios es el costo de oportunidad que traen aparejados.

También mencionan que es relevante destacar que en muchas ocasiones se recurre al inventario como amortiguador ante los cambios en la demanda o la oferta. Por ejemplo, cuando se producen variaciones en los tiempos de producción o cuando no se respetan los plazos de entrega (ya sea de materias primas o productos terminados), así como en eventualidades como huelgas del personal, tareas de mantenimiento o desastres naturales, entre otros.

[Ballou \[2004\]](#) diferencia cinco tipos de inventarios:

- **Inventario regular**, el cual engloba los inventarios necesarios para satisfacer la demanda promedio durante el tiempo de reaprovisionamiento. Este inventario depende principalmente del volumen de producción, el tamaño de los lotes de envío, el espacio destinado al almacenamiento, el tiempo de reaprovisionamiento y el costo por cantidad.
- **Inventario en tránsito:** refiere a los inventarios que se encuentran en camino de un punto a otro de la cadena de suministro, o al inventario en proceso ubicado entre las operaciones de manufactura.
- **Inventario de seguridad:** utilizado como protección frente a la variabilidad de la demanda o del plazo de entrega.
- **Inventario de especulación**, asociado a la especulación frente a una posible variación de precios.
- **Inventario muerto:** se corresponde con el inventario que se deteriora, se pierde o es robado.

### 2.2.1. Métodos de almacenamiento

Existen diferentes criterios para llevar a cabo un control óptimo del stock, donde según [SCM Expertos en logística](#) los tres principales son FEFO, LIFO y FIFO, donde sus principales características son las siguientes:

- **FIFO (First In, First Out)**: es una de las metodologías más utilizadas en el ámbito empresarial. El enfoque se basa en consumir los productos más antiguos antes que los productos más nuevos, minimizando el riesgo de deterioro y pérdidas.
- **LIFO (Last In, First Out)**: al contrario que FIFO, esta metodología tiene como prioridad la salida de la mercadería que ingresó hace menos tiempo al almacén. Suele utilizarse para tener un mejor aprovechamiento del espacio disponible.
- **FEFO (First Expires, First Out)**: en esta metodología se le da prioridad a los productos que están más próximos a vencerse, por lo que resulta vital la fecha de vencimiento de los lotes. Es un criterio que suele ser combinado con la técnica FIFO.

En la Figura 2.2 pueden verse de forma ilustrativa cada una de estas estrategias.

La elección de alguno de estos métodos depende del tipo de producto. Por ejemplo, en una cadena de suministro de alimentos, la prioridad es darle salida a los productos que están más próximos a vencerse, lo que actúa en beneficio de la rotación de la mercadería y poder optimizar los flujos.

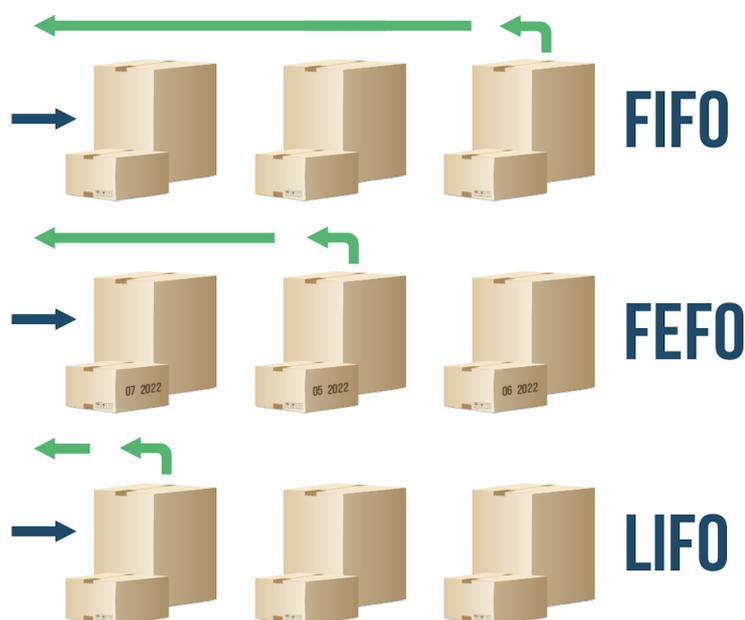


Figura 2.2: Estrategias de almacenamiento  
GLC [2023]

### 2.2.2. Gestión de inventarios

La gestión de inventarios es la práctica de controlar y gestionar el nivel de inventario de una empresa. El inventario es la cantidad de bienes o materias primas que una empresa tiene en stock. Una buena gestión de inventarios puede ayudar a una empresa a reducir costos, mejorar la eficiencia y aumentar las ventas. Según [Jacobs and Chase \[2018\]](#), la gestión de inventarios es un componente relevante de la gestión de las operaciones y de la cadena de suministro. A su vez, menciona que existen ciertos aspectos a tener en cuenta para poder llevar adelante una buena gestión de inventarios:

- Utilizar software de gestión de inventarios.
- Realizar inventarios periódicos.
- Establecer niveles de inventario mínimos y máximos.
- Utilizar técnicas de optimización de inventarios.

- Gestionar proveedores cuidadosamente.
- Minimizar desperdicios.

Estos aspectos conducen a cumplir con los siguientes objetivos de la gestión de inventarios:

- Mantener el nivel de inventario apropiado para poder cumplir con la demanda del cliente.
- Evitar quiebres de inventario, que conducen a la pérdida de ventas.
- Evitar el sobrestock, que genera costos excesivos de almacenamiento y de obsolescencia.
- Maximizar el retorno de la inversión en inventario.

A su vez, según [Anderson \[2016\]](#) existen distintos factores que influyen en la gestión de inventarios y tienen un impacto tanto positivo como negativo. Estos son:

- La demanda de los clientes, que varía dependiendo de la frecuencia de compra, cantidad y estacionalidad.
- La disponibilidad de los productos no solo en cuanto a stock, sino también en cuanto a tiempos de entrega, productos sustitutos así como productos de fabricación propia.
- Los costos logísticos, los cuales abarcan costos de transporte, almacenaje, procesamiento de pedidos, gestión de la cadena de suministro y de tecnología de la información.

### **Sistemas de inventarios**

Existen distintas técnicas para gestionar la reposición de inventarios, donde las principales son:

- Sistema de punto de reorden: establece un nivel de inventario a partir del cual se realiza un pedido al proveedor. Cuando se está por debajo de ese nivel predefinido, se debe realizar un pedido para reabastecer el inventario. Según [Edward A. Silver \[1998\]](#), esta es la técnica más utilizada.
- Sistema de revisión periódica: revisa el nivel de inventario en forma periódica y realiza pedidos cuando el nivel de inventario cae por debajo de un determinado nivel. El nivel de reabastecimiento se define en función de la demanda y los costos logísticos.

### **Beneficios de la gestión de inventarios**

La gestión de inventarios conduce a generar buenas prácticas para poder controlar y gestionar el inventario, brindando varios beneficios para la organización. Dentro de estos beneficios se encuentra la reducción de costos, dado que mantener un nivel de inventario acorde a la expectativa de la compañía evita pagar costos adicionales tanto de almacenamiento como de obsolescencia.

Otro beneficio importante es la mejora de la eficiencia. Esto tiene impacto tanto en la eficiencia de la producción, así como en las ventas y el servicio al cliente. Se ve reflejado, por ejemplo, en evitar retrasos de producción, satisfaciendo la demanda y proporcionando un mejor servicio al cliente.

La gestión de inventarios también puede ayudar a una empresa a aumentar sus ventas. [Arnold et al. \[2018\]](#) estima que una buena gestión de inventarios puede ayudar a una empresa a aumentar sus ventas en un 10-15%. Además, permite garantizar disponibilidad de productos cuando los clientes los necesiten, lo que conduce a tener un portafolio de clientes más leales y una mayor retención de los mismos.

### 2.2.3. Clasificación ABC

La clasificación ABC es una técnica para gestionar inventarios, que clasifica los distintos artículos en tres categorías: A, B y C. Se utiliza para priorizar las actividades de la gestión de inventarios. Según [Silver et al. \[1998\]](#) es una técnica para mejorar la gestión de inventarios, clasificando los artículos en función de su importancia, de forma tal que las empresas puedan centrarse en los artículos más importantes y destinar menos atención a los artículos menos importantes.

Para poder realizar un análisis ABC, se debe identificar la siguiente información:

- Valor unitario
- Costo de pedido
- Costo de almacenamiento
- Cantidad de ventas

En general, según [Heizer and Render \[2017\]](#) los artículos A representan el 20 % de los artículos del inventario y a su vez ejercen un dominio del 80 % del valor económico, luego los artículos categoría B representan aproximadamente el 30 % del inventario y el 15 % del valor económico. Finalmente los artículos C representan el 50 % de los elementos del inventario pero solamente contribuyen en el 5 % del valor económico.

El análisis ABC no es un análisis que debe realizarse una única vez, sino que debe estar actualizándose con cierta periodicidad y frecuencia por el hecho de que existen fluctuaciones en la demanda, artículos que pueden aumentar sus ventas, costos, precio y que conduce a que puedan cambiar de categoría. Incluso, suele suceder que nuevos artículos entran al inventario y, por ende, se les debe asignar una categoría al recopilar los datos para calcular los índices que indican a que categoría pertenecen.

Para poder realizar un análisis ABC, [Chopra and Meindl \[2015\]](#) menciona que se deben seguir los siguientes pasos:

- Recopilar la información de los artículos.
- Utilizar la información recolectada para calcular indicadores que puedan generar valor para clasificar. Por ejemplo, valor unitario sobre costos de almacenamiento.
- Clasificar según la metodología ABC basándose en los indicadores obtenidos en el paso anterior.
- Utilizar la clasificación para gestionar los grupos de artículos.

#### Clasificación ABC multicriterio

El análisis ABC es una herramienta que agrega valor a las compañías y ayuda a mejorar la eficiencia de su gestión de inventario. Sin embargo, puede ocurrir que el análisis ABC con un criterio no alcance y deban tenerse en cuenta otros criterios, por lo que hay una variante un poco más extendida de esta técnica, que es el método ABC multicriterio. En ocasiones, resulta importante utilizar otros criterios para poder definir mejor la clasificación de los distintos artículos incluidos en el inventario. Los criterios que existen para llevar a cabo una control ABC de este tipo son:

- **Valor económico:** el costo de los insumos o la facturación de los productos terminados.
- **Demanda:** la frecuencia con la que se requiere un artículo en el proceso o mercado.
- **Volumen:** cantidad de artículos vendidos.
- **Tiempo de entrega:** tiempo de recepción o producción de un artículo.
- **Costo de almacenamiento:** los costos asociados a tener un artículo físicamente.
- **Impacto estratégico:** evalúa el impacto que tiene un artículo en los objetivos de una compañía.

Estos son algunos de los criterios que se tienen en cuenta dentro de la clasificación ABC multicriterio, no obstante, cada organización que decida utilizar esta técnica, prioriza los criterios que considere claves o críticos para poder darle valor a su compañía.

Castro Zuluaga et al. [2011] explican que, para poder darle solución al problema de clasificar siguiendo un criterio ABC multicriterio, se suelen definir pesos o ponderaciones para poder cuantificar y poder generar un mecanismo que logre definir qué artículos son más importantes que otros. Se pueden definir mediante algún modelo matemático para realizarlo de forma objetiva, o de forma subjetiva a partir del expertise de los trabajadores de la organización.

Resulta importante tener cuidado con la forma con la que se mide un criterio, ya que va a impactar de forma directa en la clasificación que se va a tener como resultado. Sin embargo, respecto al multicriterio, a medida que aumente la complejidad de criterios se va a disminuir la utilidad de esta técnica, por lo que llegar a un análisis que pueda dar valor resulta fundamental para tener la información necesaria para tomar buenas decisiones.

#### 2.2.4. Costos logísticos

Ghioldi et al. [2017] muestran que los costos logísticos abarcan en gran proporción los costos de la cadena de suministro. Según, Álamo and Mora [2013], estos tienen un impacto directo tanto en la rentabilidad de la empresa, como en la eficiencia operativa. Los costos más importantes a tener en cuenta son:

- **Costos de transporte:** incluyen el traslado de mercadería desde proveedores hasta los centros de distribución o clientes. Tienen una gran variación dependiendo el tipo de flete, ya sea terrestre, marítimo o aéreo.
- **Costos de almacenaje:** están relacionados con el espacio físico utilizado, incluyendo los gastos de mantenimiento, seguros, impuestos, entre otros.
- **Costos de procesamiento de pedidos:** incluyen la emisión, procesamiento y cumplimiento de pedidos. Pueden variar según el volumen del pedido, la complejidad y rapidez de entrega.
- **Costos de gestión de cadena de suministro:** refieren a los gastos asociados con planificar, coordinar y controlar todas las actividades que se desarrollan en una cadena de suministro. Están involucrados también los costos referidos a la demanda de producción, así como los costos de calidad, que refieren a los relacionados con la prevención, detección y corrección de distintos defectos que puedan presentar los productos.
- **Costos de tecnología de la información (IT):** estos costos son aquellos que involucran a la inversión y mantenimiento de sistemas de información y tecnología, tanto de software como hardware. Actualmente resultan cada vez más importantes debido a la migración de las empresas a la digitalización e integralidad de procesos.

### 2.3. Gestión de compras

La gestión de compras es el proceso de adquirir bienes y servicios para una compañía Monczka et al. [2019]. Se basa en identificar las necesidades que presenta una empresa, buscar proveedores, negociar contratos y gestionar las relaciones con los proveedores. Es una función crítica en todas las empresas ya que puede ayudar a la organización a ahorrar dinero, mejorar la calidad de sus productos y servicios, así como cumplir con los plazos.

La gestión de compras presenta varias aristas en cuanto al impacto e influencia que tienen sobre la misma que son:

- Necesidades de la empresa.
- La disponibilidad de productos y servicios.
- El precio de los productos y servicios.

- La calidad de los productos y servicios.
- El plazo de entrega de los productos y servicios.
- Las relaciones con los proveedores.

Por otro lado, [Johnson et al. \[2017\]](#) dice que el proceso de gestión de compras es complejo y puede dividirse en varios pasos:

- **Definición de necesidades:** identificar los bienes y servicios que la empresa necesita comprar, así como cantidad y calidad.
- **Búsqueda de proveedores:** buscar proveedores para poder satisfacer las necesidades ya definidas. En este caso se deben ver origen de proveedores, precios, disponibilidad, entre otros.
- **Negociación de contratos:** implica acordar distintos términos, precio, cantidad, calidad, plazo y condiciones de pago.
- **Gestión de relaciones con proveedores:** mantener comunicaciones regulares con los proveedores, resolver distintos problemas que puedan surgir y buscar mejoras para el rendimiento.
- **Monitoreo del rendimiento:** implica evaluar el cumplimiento de los proveedores con los términos del contrato, así como su calidad.

Respecto a las relaciones con los proveedores, [Schuh et al. \[2016\]](#) trata sobre una serie de puntos para poder gestionar de forma eficaz y efectiva las relaciones con los proveedores. Para poder llevar a cabo esta gestión se deben seleccionar proveedores adecuados, construir relaciones sólidas, ser transparente, flexible y justo.

En conclusión, hay muchos factores a considerar cuando se realiza una gestión de compras, principalmente la necesidad de las empresas así como poder tener una buena relación de cooperación con los proveedores seleccionados. La gestión de compras es una función compleja pero esencial para el éxito de cualquier organización.

## 2.4. Teoría de las Restricciones

La Teoría de las Restricciones (abreviada como TOC, por las siglas de Theory of Constraints), es un enfoque de gestión empresarial creado por el físico israelí Eliyahu Goldratt, cuyo postulado principal menciona que el máximo desempeño de los sistemas, particularmente de las organizaciones empresariales, está determinado por muy pocos elementos: las restricciones. En lenguaje coloquial, una restricción suele ser llamada como *cuello de botella*. [Asana \[2022\]](#)

Eliyahu Moshe Goldratt (1947-2011) fue un experto israelí de la gestión empresarial. A lo largo de su vida, ideó la técnica de producción optimizada, la Teoría de las Restricciones, el método Drum-Buffer-Rope y otras herramientas derivadas de TOC. Además, escribió diversas novelas empresariales y obras de no ficción sobre la aplicación de TOC a diversos procesos. Sus historias se centran en identificar y superar restricciones limitantes, así como en reconocer la importancia de la capacidad excesiva en puntos no críticos para el óptimo funcionamiento del recurso limitado. [Goldratt Institute \[2017\]](#) [Historia-Biografía \[2023\]](#)

El foco de la Teoría de las Restricciones es identificar y gestionar los cuellos de botella en un proceso empresarial, con el fin de mejorar la eficiencia y maximizar la rentabilidad. En una planta de fabricación, la restricción puede ser una máquina, la escasez de trabajadores calificados o la falta de materias primas.

En su libro [Goldratt \[2004\]](#), Goldratt identifica los cinco pasos a seguir con el fin de alcanzar el máximo desempeño en una organización:

- I. **Identificar las restricciones:** implica encontrar el eslabón más débil de la cadena de producción. Debe analizarse cuidadosamente el proceso de negocio o la cadena de fabricación para detectar el cuello de botella que representa el mayor obstáculo en la búsqueda de una mejora continua significativa y duradera. Una vez identificado, la solución de este problema tendrá un impacto palpable en la productividad general.  
Este paso requiere de especial atención, ya que, si no se logra identificar de manera correcta a la restricción, se estarán destinando recursos a perfeccionar etapas del proceso que no se traducirán en un beneficio en el marco global de la empresa.
- II. **Explotar la restricción:** aquí se deben dedicar los recursos necesarios para maximizar la productividad de la restricción identificada en el paso anterior (lo cual, en consecuencia, tenderá a eliminar o minimizar el impacto del cuello de botella), de manera que se logre maximizar las utilidades con las limitaciones actuales del sistema.
- III. **Subordinar los demás elementos a la restricción:** en caso de ser necesario, las demás áreas deben resignar la eficiencia local en pos de la eficiencia global del proceso, siempre con el objetivo de acoplarse a las necesidades del cuello de botella. Aquellas actividades que no agregan ningún tipo de valor deben eliminarse o retrasarse para que no interfieran en la explotación de la restricción.
- IV. **Elevar la restricción:** en este paso debe buscarse que la restricción actual deje de ser tal, mediante una adición de recursos o mejoras en el proceso que impliquen una mejora en su productividad. Igualmente, previo a ello es necesario evaluar las implicancias de cualquier inversión, analizando la viabilidad de la misma.
- V. **Volver al paso I:** verificar que la restricción actual deja de ser limitante en la cadena y repetir la secuencia desde el primer paso, ingresando en un espiral de mejora continua.

En la Figura 2.3 pueden verse esquematizados estos cinco pasos.

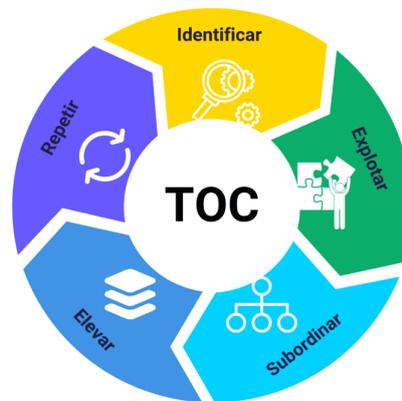


Figura 2.3: Cinco pasos de la Teoría de las Restricciones  
SafetyCulture [2023]

### 2.4.1. Indicadores de desempeño en TOC

Según Goldratt, la única meta de las operaciones en el ambiente de una fábrica es ganar dinero. Para evaluar este objetivo, Goldratt define tres conceptos que resultan claves para la medición del rendimiento de un sistema dado: throughput (tasa de generación de ingresos), inventario y gastos operativos. Goldratt [2004]

El throughput refiere a la tasa de producción o generación de ingresos del sistema. En términos simples, es la cantidad de dinero que ingresa al sistema en un período de tiempo dado.

En cuanto al inventario, Goldratt brinda una definición bastante más abarcativa que en otras teorías, ya que lo explica como todo lo material que es utilizado en el proceso para el desarrollo de las

actividades que se realizan con el fin de alcanzar un beneficio. Incluye todo el dinero que la empresa invierte en elementos del sistema que permitan generar valor. Dentro de este concepto se encuentran principalmente los inventarios de materias primas, aunque también engloba a toda la inversión en activos con los cuales es posible obtener y mantener productos que generen throughput.

Finalmente, el gasto operativo incluye todos los demás fondos que son utilizados en el sistema para lograr generar beneficios. Esto incluye costos como la mano de obra directa, los costos de energía, mantenimiento, depreciación, entre otros.

A partir de estos conceptos pueden determinarse indicadores de desempeño para cuantificar el rendimiento de la compañía [Gustavo A. Sánchez Ribero \[2017\]](#):

$$T_u = P_u - CTV_u \quad (2.1)$$

donde:

- $T_u$  = Throughput por unidad de producto.
- $P_u$  = Precio por unidad de producto.
- $CTV_u$  = Costo Totalmente Variable de una unidad de producto. Representa el costo que varía con el volumen de producción, el cual principalmente se corresponde con el costo de materia prima.

A partir de la sumatoria de los throughputs unitarios multiplicados por las cantidades vendidas puede determinarse el throughput total:

$$T = \sum_u T_u \cdot q_u = \sum_u (P_u - CTV_u) \cdot q_u \quad (2.2)$$

donde  $q_u$  es la cantidad total de producto vendida en el período considerado.

Finalmente, los tres conceptos descritos anteriormente pueden integrarse en las fórmulas de utilidad neta ( $UN$ ) y retorno de la inversión ( $ROI$ ):

$$UN = T - GO \quad (2.3)$$

$$ROI = \frac{T - GO}{I} \quad (2.4)$$

donde:

- $T$ : throughput total.
- $GO$ : gastos operativos.
- $I$ : inversión total.

A su vez, según [Contreras \[2006\]](#) multiplicando y dividiendo por el valor de las ventas ( $V$ ) pueden introducirse los conceptos de margen porcentual y rotación de activo:

$$ROI = \frac{UN}{I} = \left( \frac{UN}{I} \right) * \left( \frac{V}{V} \right) = \left( \frac{UN}{V} \right) * \left( \frac{V}{I} \right) = \%Margen * Rotación de activo \quad (2.5)$$

Goldratt plantea que, para poder aumentar la rentabilidad de una organización, se debe [Goldratt \[2004\]](#):

- Incrementar el throughput.
- Bajar el nivel de los inventarios.
- Reducir los gastos operativos.

### 2.4.2. Metodología DBR (Drum-Buffer-Rope) tradicional

La metodología DBR [ANER \[2019\]](#) es un enfoque de gestión de la producción, tanto en planeación, programación y ejecución, que se utiliza en la Teoría de las Restricciones para maximizar la eficiencia y la productividad. El objetivo del DBR es aumentar el rendimiento económico de la empresa, satisfaciendo la demanda del mercado de la manera más rápida posible, conociendo la capacidad del proceso y aprovechándola al máximo. Deja de lado las eficiencias locales manteniendo una cierta capacidad protectora cuando es necesario.

Referido al inventario, se ve reflejado en una menor permanencia de los distintos materiales dentro de la fábrica, lo que conlleva a una menor necesidad de stock en curso y por ende, una mejora notoria en los tiempos de fabricación. Como resultado, se reducen los cambios de planes de producción por urgencias y se da respuesta a la demanda en plazos más acotados.

Esta metodología está compuesta por tres conceptos claves [Cox III and Schleier Jr. \[2010\]](#): el tambor, el amortiguador y la cuerda (drum, buffer y rope).

- **El tambor (drum)** es aquel recurso limitante de la capacidad interna (CCR), es decir, el elemento con la menor productividad que determina el ritmo de producción y se utiliza como referencia para elaborar la programación de los demás elementos del sistema. El tambor siempre tiene en cuenta las restricciones del sistema, así como también los compromisos y acuerdos de los clientes a la hora de marcar el ritmo de todo el sistema. El proceso del tambor comienza por identificar el trabajo que debe realizarse con la restricción de la producción total requerida.
- **El amortiguador (buffer)** es un mecanismo de protección de la restricción contra la variabilidad y las interrupciones. La intención es no generar desperdicios en la capacidad de rendimiento del CCR. El buffer más común es el de tiempo, el cual representa el tiempo de entrega adicional permitido, más allá de los tiempos que hay en la preparación y en los procesos requeridos. Sin embargo, existen otros tipos de buffers, como son los de capacidad, de inventario y de espacio.
- **La cuerda (rope)** es la forma de relacionar la restricción con los demás elementos del proceso, liberando recursos al sistema solo cuando la restricción esté lista para recibir más trabajo. La cuerda es el elemento que se encarga de controlar el flujo, en un pequeño número de puntos de control. Es fundamental para reducir los tiempos de entrega, ya que evita que los distintos centros de trabajo se enfoquen en eficiencias locales. En los recursos que no son cuellos de botella se trabaja bajo el concepto del *correccaminos*: todo lo que llega al eslabón en cuestión debe procesarse de la forma más rápida posible.

Según [Harry and Schroeder \[1999\]](#), el enfoque DBR se divide en tres etapas, la primera es la definición, donde se define el problema que se va a abordar. Luego, la segunda fase es el diseño para el producto o el proceso. Por último, está la fase de validación, donde se verifica que se cumple con los requisitos.

En el caso de TOC, el proceso de implementar la metodología DBR comienza por identificar los cuellos de botella en el sistema y determinar la capacidad de producción del proceso más lento (el tambor). Una vez que se ha establecido la tasa de producción del tambor, se puede calcular el tamaño óptimo del amortiguador para proteger el proceso de producción contra las variaciones. Finalmente, se utiliza la cuerda para controlar la producción y garantizar que se mantengan los niveles de inventario adecuados en toda la cadena de suministro. Se utiliza para realizarle mediciones al rendimiento del sistema, por lo que las empresas pueden evaluar el éxito de sus esfuerzos en eliminar las restricciones.

Esta metodología aplica a un amplio espectro de industrias, como pueden ser de fabricación, de distribución, servicio al cliente, entre otras. Es una herramienta que permite a una compañía obtener mejoras en su eficiencia, productividad y rentabilidad, y que tiene distintos beneficios como:

- Reducción de inventario
- Aumento de eficiencia
- Reducción de costos
- Mejora de calidad
- Mejora de servicio al cliente

### Tipos de amortiguadores

Los amortiguadores se utilizan con el fin de proteger los compromisos de entrega del sistema frente a los efectos negativos de la variación interna y de la incertidumbre externa. En el enfoque DBR tradicional es necesario distinguir los siguientes tres amortiguadores de tiempo:

- **Buffer de envío**, el cual protege la fecha de envío. Desde que sale del CCR hasta la entrega. La Figura 2.4 representa un caso de ejemplo.

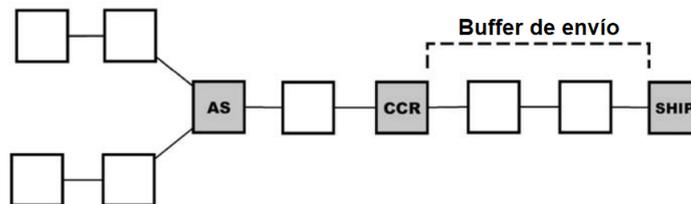


Figura 2.4: Buffer de envío  
Schragenheim and Dettmer [2001]

- **Buffer CCR**, que protege al recurso limitante, desde la liberación de recursos hasta el CCR. La Figura 2.5 representa un caso de ejemplo.

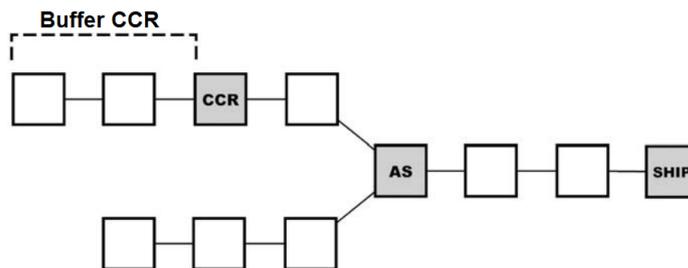


Figura 2.5: Buffer CCR  
Schragenheim and Dettmer [2001]

- **Buffer amortiguador**, que protege el flujo de piezas del CCR contra el flujo de piezas de una no restricción. La Figura 2.6 representa un caso de ejemplo.

donde:

- *AS*: Ensamblaje (Assembly).
- *SHIP*: Envío (Shipping).

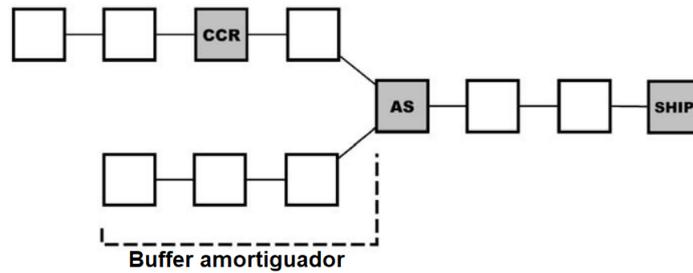


Figura 2.6: Buffer amortiguador  
Schragenheim and Dettmer [2001]

### Gestión del amortiguador

Para poder gestionar el amortiguador, se lo suele dividir en tres partes. Las variaciones normales suelen quedar absorbidas por el primer tercio, y solo unas pocas llegan al tercero, ya que, que el amortiguador se consuma completamente, implica un riesgo importante.

Al ser las zonas del amortiguador de gran utilidad para llevar un control, es importante ver que todas las órdenes de trabajo no caigan en el amortiguador, siendo esto un indicador de la existencia de algún problema y puede deberse a que otro sector pueda estar tornándose en cuello de botella. El consumo del amortiguador se da cuando al CCR no le llegan a tiempo los pedidos programados. Cuando un pedido entra en la última zona del amortiguador, es sumamente necesario poder tratar con la situación crítica y poder alcanzar una solución, nunca dejando de monitorear las dos primeras zonas del amortiguador.

#### 2.4.3. Metodología S-DBR (DBR simplificado)

Según Focalizada [2018], S-DBR es un caso particular del DBR, donde la restricción principal es el mercado. La variante S-DBR se basa en los mismos conceptos del DBR tradicional, pero simplifica la operativa, lo cual facilita la instalación y el uso logrando los mismos efectos.

La metodología S-DBR tiene como objetivo mejorar el flujo de la producción y el rendimiento de una empresa. Se puede dividir en las siguientes fases:

- Identificación la restricción.
- Cálculo de la capacidad de la restricción.
- Cálculo de la producción diaria.
- Cálculo del amortiguador.
- Establecimiento de la cuerda.

. La principal diferencia entre S-DBR y DBR según Cox III and Schleier Jr. [2010], es que el primero pone mucho mayor énfasis en una correcta ejecución que en el planificación. En la metodología DBR, el tiempo asignado a uno de los amortiguadores no puede ser utilizado en caso de ser requerido en una etapa posterior, el mismo se desaprovecha. Además, el hecho de tener tres amortiguadores puede crear conflictos entre las diferentes necesidades de amortiguadores, haciendo que sean difíciles de controlar. Otra ventaja del S-DBR es que es compatible con el MRP (Material Requirements Planning), el cual ya es utilizado en varias empresas, ya que funciona en ausencia de un CCR, es decir solo tiene un amortiguador (el buffer de envío).

El S-DBR toma como ciertas algunas suposiciones Focalizada [2018]:

- La demanda del mercado pasa a ser la restricción del sistema. En caso de que se presenten restricciones internas, serán temporales, y en caso de que se presenten picos en la demanda, pueden presentarse recursos con capacidad limitada que restrinjan el rendimiento de la compañía.

- Los recursos internos son restricciones. Se puede tener en estos exceso de capacidad, lo que conlleva a tener incumplimientos en las fechas de entrega y por ende, impacto negativo en el nivel de servicio.

Para poder tomar decisiones empresariales de forma eficaz, se deben tener claros los objetivos y los distintos factores que afectan el rendimiento financiero. Es vital poder tener una buena colaboración de los diferentes actores de la cadena de suministro para mejorar la eficiencia y eficacia, por ejemplo con la planificación colaborativa, la compartición de información y la coordinación de distintas actividades.

## 2.5. Demand Driven

La metodología de Demand Driven (DD) o Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) ha surgido como una alternativa innovadora a los enfoques tradicionales de gestión de la cadena de suministro, que se basan principalmente en predicciones a largo plazo. Como se explica en [Smith and Smith \[2014\]](#), Demand Driven busca optimizar la gestión de la cadena de suministro en base a la demanda real del mercado, donde el enfoque es reducir los tiempos de la cadena de suministro y maximizar el rendimiento de los recursos productivos, con el objetivo de cumplir con los plazos de entrega y minimizar los costos. Como se describe en [art \[b\]](#), es una metodología de planificación de la cadena de suministro que se centra en la demanda del cliente y la sincronización de la producción con la demanda.

DDMRP funciona identificando los artículos más importantes para la empresa y generando un amortiguador para cada artículo. El amortiguador se ajusta teniendo en consideración la demanda de los clientes, buscando garantizar que siempre haya inventario disponible para poder cumplir con las ventas.

Esta metodología tiene una estrecha relación con TOC, ya que ambas proponen identificar y eliminar las restricciones que limitan el rendimiento global del sistema. La Figura 2.7 muestra el funcionamiento del amortiguador. Se puede apreciar que el mismo se ajusta de manera dinámica, en función a los niveles de inventario y su relación con el amortiguador, el cual no es un valor fijo.

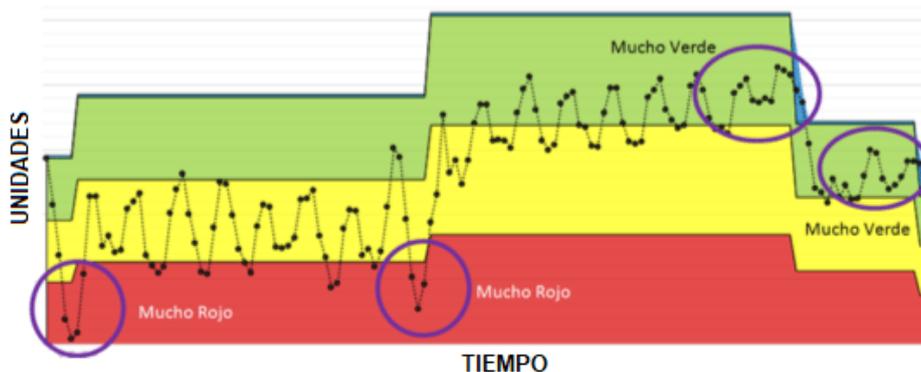


Figura 2.7: Variación del amortiguador  
[SimpleSolutions \[2018\]](#)

Si bien DDMRP puede ser una herramienta que agregue mucho valor a las compañías que buscan mejorar su rendimiento, requiere de una planificación y ejecución cuidadosa para poder llevar a que esta metodología sea efectiva. Aplicar DDMRP presenta diversos beneficios como pueden ser [art \[a\]](#):

- Mejorar el servicio al cliente garantizando que siempre haya inventario disponible para satisfacer la demanda.
- Reducir el exceso de inventario al ajustar los niveles de inventario, ajustando el stock en función de la demanda.

- Mejorar la rentabilidad al reducir los costos asociados con el inventario, como costos de almacenamiento, de generar pedidos, de quiebre, entre otros.
- Mejorar la visibilidad de la cadena de suministro.
- Agilizar la toma de decisiones.
- Optimizar los recursos.

Para aplicar Demand Driven es necesario seguir una serie de pasos. En primer lugar, se debe definir el mercado objetivo y las necesidades de los clientes. A partir de esta información, se identifica la demanda real del mercado y los productos más rentables y estratégicos para la empresa.

Una vez identificada la demanda, se debe analizar la capacidad productiva de la empresa y los cuellos de botella en la cadena de suministro. Para esto, se puede utilizar la herramienta Drum-Buffer-Rope descrita anteriormente.

A partir de la definición de la capacidad de producción del cuello de botella, se establece un plan de producción que permita maximizar el rendimiento de este recurso limitante. En este sentido, se define una frecuencia de pedido (FP) para establecer el tiempo de reposición de los productos y garantizar un flujo constante de material en el sistema.

Además, la metodología Demand Driven utiliza el concepto de "Pull" para sincronizar la cadena de suministro con la demanda real del mercado. Esto significa que los pedidos se generan a partir de la demanda real, lo que permite reducir el tiempo de respuesta y minimizar los inventarios.

Al igual que en TOC, en Demand Driven se establece un sistema de medición y control para garantizar la eficiencia y rendimiento de la cadena de suministro. En este sentido, se utilizan indicadores como el throughput para medir el rendimiento del sistema.

Los buffers o amortiguadores de DDMRP se dividen en tres categorías: de inventario, de tiempo y de capacidad. Los buffers de inventario se utilizan para proteger los niveles de inventario de los componentes críticos, los buffers de tiempo se utilizan para proteger los tiempos de entrega y los buffers de capacidad se utilizan para proteger la capacidad de producción. La Figura 2.8 representa la interrelación que existe entre los componente de DDMRP, que son: proveedores, inventario de materia prima, inventario intermedio, inventario de producto terminado y clientes. La Figura no solo representa el comportamiento, sino el impacto de los amortiguadores de cada uno.

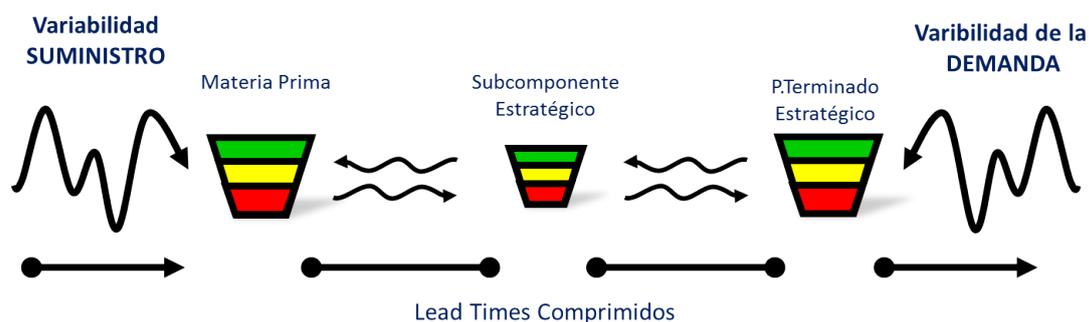


Figura 2.8: Modelo DDMRP  
CMG [2023]

La Teoría de las Restricciones y Demand Driven no son conceptos que se contrarresten, sino que pueden interrelacionarse e incluso potenciarse. Por un lado se utiliza TOC para identificar las restricciones de la cadena de suministro, mientras que Demand Driven puede ser utilizada para diseñar un sistema que logre maximizar el flujo a través del cuello de botella. TOC también puede ser utilizada

para gestionar la capacidad de la cadena de suministro, y por otra parte, Demand Driven utilizarse para garantizar que la capacidad esté alineada con la demanda del cliente. En conjunto resultan ser dos herramientas muy poderosas que pueden ayudar a una organización a mejorar su rendimiento y poder alcanzar un nivel más alto de servicio al cliente.

## 2.6. Sistemas de fabricación

Existen dos enfoques fundamentales en la gestión de los sistemas de fabricación:

- MTS (Make To Stock, o fabricación para inventarios en español) es un enfoque basado en las previsiones de la demanda y es normalmente utilizado en productos de alta rotación [Pamela Escobar \[2012\]](#). Los productos son fabricados previo a que se realicen los pedidos, manteniendo inventario disponible para satisfacer la demanda de manera rápida, pero es susceptible a generar inventario obsoleto.
- MTO (Make To Order, o fabricación contra pedido en español) implica la producción solamente en respuesta a pedidos de clientes. Si bien MTO ofrece una mayor flexibilidad, suele tener un tiempo de respuesta mayor [Chin-Sheng Chen \[2009\]](#). Esta metodología reduce notablemente el riesgo de inventario obsoleto, al producir solamente lo necesario.

Para un enfoque TOC, la mejor alternativa es producir contra pedido [Schragenheim and Dettmer \[2001\]](#) debido a que exige plazos de entrega más cortos. Situación en la cual, Teoría de las Restricciones facilita la reducción de inventarios y gastos operativos como consecuencia de un mayor throughput. No es recomendable la producción para inventario.



## Capítulo 3

# Definición del problema (estudio de caso)

Al comienzo de este proyecto de grado, se inicia la búsqueda de empresas que permitieran aplicar la temática a estudiar en un caso real, con la intención de evaluar los resultados empíricamente.

Inicialmente, se mantiene un diálogo con la empresa Strong S.A., dedicada a la producción de envases flexibles. Se genera una instancia virtual, donde cada una de las partes expone sus necesidades. Los representantes de Strong dan cuenta de su problemática particular. Luego de ser discutida entre el equipo y los tutores es descartada por estar relacionada principalmente a la investigación de operaciones y optimización de problemas, y no tanto a la temática principal del proyecto.

Luego de ello, se prosigue con la búsqueda de otras alternativas, surgiendo dos nuevas posibilidades: Cabezas Bier y Fanacif S.A. Con ambas empresas se desarrollan reuniones con el fin de realizar una evaluación inicial de cada una de ellas. Finalmente, para el estudio de caso se selecciona a la empresa Fanacif.

En las siguientes secciones se realiza una introducción a cada una de ellas, las problemáticas planteadas y los pasos que se siguen en cada caso.

### 3.1. Cabezas Bier

Cabezas Bier es una empresa uruguaya, fundada en 2010 por un grupo de amigos en Tacuarembó, dedicada a la fabricación y distribución de cerveza artesanal. Actualmente cuentan con puntos de venta al público propios de la compañía en 7 departamentos (Canelones, Durazno, Flores, Montevideo, Rocha, Soriano y Tacuarembó), aunque su mercadería llega a todo el país mediante bares, pubs, restaurantes, cafés, supermercados, distribuidores y otros comercios.

Han logrado consolidarse como uno de los principales productores de cerveza artesanal en el país. En consecuencia, llegaron a obtener premios y reconocimientos tanto en el ámbito nacional como internacional.



Figura 3.1: Logo de Cabezas Bier  
[Cabezas Bier \[2023\]](#)

En cuanto a la competente con este proyecto, la empresa Cabelas Bier plantea un problema relacionado con los faltantes de mercadería en depósitos intermedios y puntos de venta. Esto es fácilmente verificable in situ, donde se constata el desabastecimiento de algunos de sus productos en diferentes comercios. También comentan que la planta de producción presenta capacidad ociosa en algunos períodos del año, considerando que la demanda del mercado es estacional, con picos altos en verano y bajos en invierno.



Figura 3.2: Producto Cabelas Bier  
Cabelas Bier [2023]

Desde la empresa se provee la información solicitada sobre los datos de producción y salida de productos terminados desde el depósito, a partir de lo cual se construye un histórico de stock diario de cada artículo. Luego de proceder con el análisis de este histórico, se observa que no existen mayores problemas en cuanto a disponibilidad y/o excesos de stock de productos terminados en planta, tal como fue planteado por la contraparte de Cabelas Bier.

Con esto en consideración, se concluye que los faltantes de stock en los puntos de venta no son una consecuencia de la producción en la planta, sino que la principal causa puede asociarse a las metodologías utilizadas por algunos de los distribuidores mayoritarios para realizar los pedidos. Esto lleva a determinar que el problema tendría que enfocarse desde una perspectiva comercial.

Finalmente, se puede concluir que Cabelas es un buen caso para aplicar la metodología TOC. Sin embargo, por razones propias, la empresa prefirió no adentrarse en la aplicación de la Teoría de las Restricciones, implicada en la distribución de la compañía, dejando como mejor alternativa la opción de Fanacif S.A.

## 3.2. Fanacif S.A.

Fanacif S.A. (Fábrica Nacional de Cintas de Frenos S.A.) es una empresa fundada en el año 1956 dedicada a la manufactura y comercialización de pastillas de freno para vehículos tanto livianos como pesados, bloques de frenos para vehículos comerciales incluyendo camiones y ómnibus, además de rollos y cintas de freno. Es la única planta industrial de fricción en Uruguay. Se encuentra ubicada en la zona de Colón, Montevideo, Uruguay. En la Figura 3.3 puede observarse una imagen área de la planta, y en la 3.4 el logo de la compañía.

Fanacif es una empresa perteneciente a una subdivisión del grupo de Empresas Randoncorp [Randoncorp](#) [2023], llamada Fras-le. Esta se especializa en la fabricación de materiales de fricción, como pastillas de freno, zapatas y otros componentes relacionados. La compañía produce una amplia gama de productos de fricción para diversas aplicaciones en la industria automotriz.



Figura 3.3: Vista área de Fanacif S.A.  
Fuente: Fanacif S.A.



Figura 3.4: Logo de Fanacif  
Fuente: Fanacif S.A.

En el año 2017 Fras-le absorbe a Fanacif, dentro de lo que fue una operación de expansión regional que también incluyó dos firmas argentinas: Armetal y Farloc. Esta adquisición tenía como objetivo el incremento de volumen de producción para poder satisfacer la demanda de los mercados de Latinoamérica. De esta forma, Fanacif pasa a integrar el Grupo Randon, quedando dentro de Fras-le, abocada a la fabricación y comercialización de sistemas de fricción.

El Grupo Randon tiene su sede en Brasil, la cual es referencia global en transporte. Randoncorp cuenta con 30 unidades industriales y una fuerza laboral aproximada de 17.000 empleados. Además, se encuentra presente en más de 120 países, en todos los continentes.

### 3.2.1. Sistemas de frenado

Un sistema de frenado resulta vital en cualquier tipo de vehículo para poder mantener el control, reducir la velocidad y garantizar la detención.

Existen tres tipos de frenos:

- Frenos de tambor
- Frenos de disco
- Frenos regenerativos

Fanacif produce frenos de tambor y de disco. En la Figura 3.5 se muestra un diagrama de los de disco (izquierda) y de tambor (derecha).

Los sistemas de frenado de tambor utilizan tambores metálicos que giran solidarios a las ruedas. Cuando se acciona el freno, un sistema de pistones hace que las zapatas de freno (ver Figura 3.6) se desplacen y se genere fricción entre las zapatas y el tambor, reduciendo así la velocidad del vehículo. El

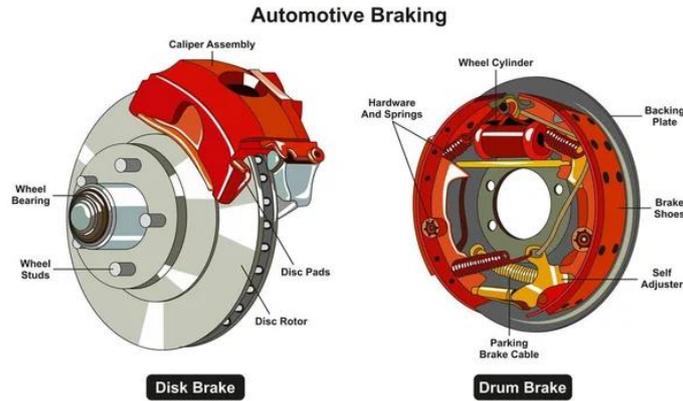


Figura 3.5: Sistema de frenos de tambor y de disco  
[AutoDOC \[2023\]](#)

sistema de frenado de tambor es, generalmente, usado en las ruedas traseras de los vehículos livianos (autos) con zapatas de freno y en vehículos pesados (camiones) con zapatas de bloque.

Para los vehículos livianos, Fanacif no se limita a la producción de zapatas de freno, también produce cintas y rollos (Figura 3.6) para el mercado de reposición. El encargado de efectuar el remplazo de las zapatas de freno cuando estas alcanzan su vida útil puede optar por mantener la parte metálica de la misma, sustituyendo solamente el componente de fricción, donde se genera el desgaste.



Figura 3.6: Cinta, zapata y rollo de frenos  
[Fras-Le \[2023\]](#)

Para los vehículos pesados, Fanacif produce bloques de freno y zapatas de freno, como se puede apreciar en la Figura 3.7, con los bloques cumpliendo la misma función que las cintas en vehículos livianos.



Figura 3.7: Zapata de bloque y bloques de freno  
[Fras-Le \[2023\]](#)

Luego, están los sistemas de frenado de disco que se componen de discos metálicos solidarios a las ruedas. Cuando se acciona el sistema de frenos, las pastillas (Figura 3.8) se presionan contra los discos

de freno, de esta forma se genera fricción y reduce la velocidad del vehículo. Son más eficientes que los sistemas de frenado de tambor y suelen utilizarse en el tren delantero de los vehículos.

La principal razón por la que se elige un sistema de frenos de tambor en el tren trasero y sistema de disco en el delantero, es por la distribución del peso del vehículo a la hora de frenar. Cuando esto ocurre, la carga se transfiere hacia el eje delantero, y tiene como resultado que las ruedas delanteras soporten la mayor parte del peso.

Sin embargo, siempre hay que tener en cuenta el tipo de vehículo y las preferencias del fabricante, ya que por ejemplo, en el caso de vehículos de competición, suelen contar con sistema de frenado de discos tanto en el sector delantero como en el trasero.

### 3.2.2. Visita a Fanacif

Para poder tener un mejor entendimiento y comprensión de los procesos productivos, se decide realizar una visita a las instalaciones de Fanacif, durante la cual se realiza un relevamiento in situ y se mantienen conversaciones esclarecedoras con los responsables de los procesos. Se presenta una inquietud general, que gira en torno a la acumulación excesiva de inventario, tanto de materias primas como de producto terminado, lo que representa una gran cantidad de capital estancado en el depósito de la compañía.

En contraposición con la preocupación del personal de Fanacif acerca el exceso de inventario, se menciona que uno de los principales puntos fuertes de la compañía es la producción de pastillas de freno (Figura 3.8), para la cual se han llevado a cabo diversas iniciativas enfocadas en la mejora de la productividad y eficiencia de la línea.



Figura 3.8: Pastilla de freno  
Fras-Le [2023]

Como parte de una cultura de mejora continua, se realizan periódicamente análisis de modos y efectos de fallas (FMEA, por sus siglas en inglés). Asimismo, hace aproximadamente una década se llevó a cabo un estudio de implementación de Just-In-Time (JIT), aplicando la metodología KANBAN en el proceso de producción de pastillas de freno, lo cual resultó en una reducción significativa de los tiempos de producción.

Por otro lado, los comentarios iniciales sobre las metodologías utilizadas y los datos mencionados, hacen parecer que verdaderamente puede llegar a existir un problema de sobre stock dentro de la empresa, en el sector de materias primas.

En la Figura 3.9 se presenta un diagrama de los flujos de la cadena de suministro de Fanacif. Se pueden apreciar cinco bloques: pedidos de productos, pedidos de materia prima, producción, depósito y depósito externo. Este diagrama abarca de forma integral los procesos de la cadena de suministro, teniendo como primer punto la compra a proveedores, tanto locales como extranjeros, hasta los envíos de producto terminado, ya sea hacia los clientes como a un depósito externo, donde también conviven con materias primas.

Si bien el enfoque central del proyecto se centra en la producción de elementos de fricción, es importante destacar que no se profundiza sobre las diversas operaciones que integran el proceso de manufactura, dado a que no se encuentran dentro del alcance del trabajo.

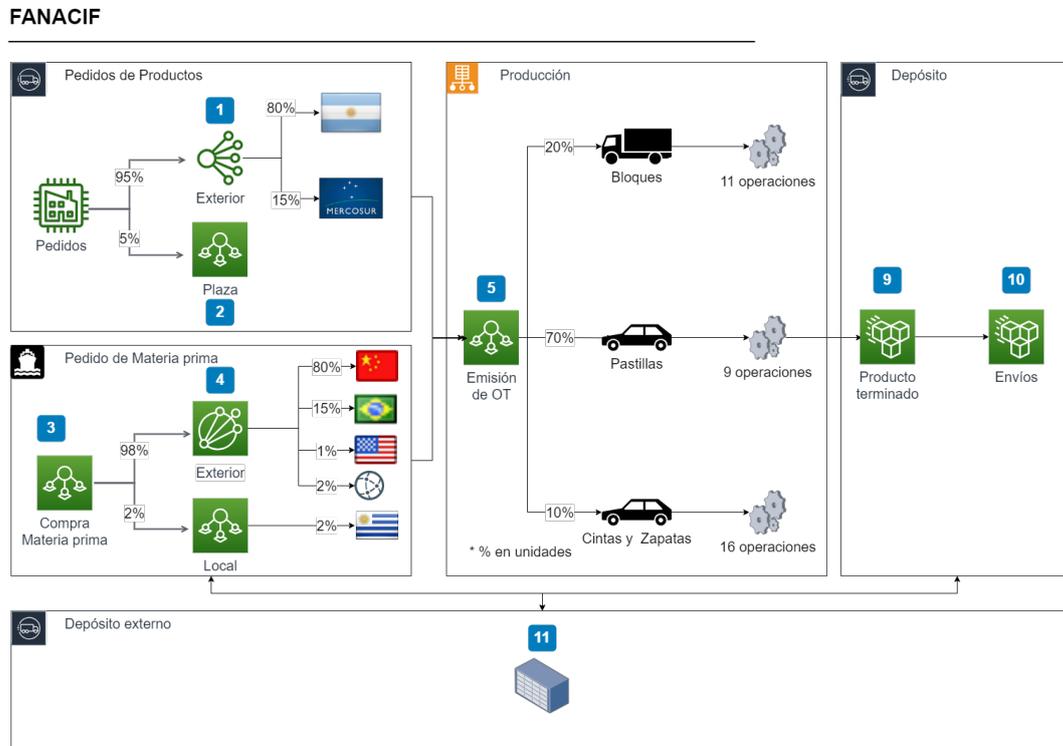


Figura 3.9: Flujo de procesos en Fanacif  
Fuente: elaboración propia

A continuación, se describen algunas observaciones de las diversas etapas enumeradas en el flujo de procesos de la Figura 3.9:

1. Los pedidos del exterior se actualizan mensualmente. Por lo general, los mismos se componen de una parte fija para los próximos 3 meses y un pronóstico para los siguientes 3 meses. El pronóstico de los meses 4 a 6 se va actualizando mensualmente con ajustes menores.
2. Los pedidos de plaza se realizan con una anticipación menor, en algunos casos de alta demanda. Se utilizan pronósticos internos.
3. Se corre el MRP mensualmente para realizar los pedidos de materia prima.
4. Existen proveedores externos en distintos continentes, sin embargo los dos principales proveedores son China y Brasil. Por otra parte, en menor medida, hay proveedores de menor volumen de materiales como son Estados Unidos, México, Países Bajos, Egipto y Francia. Los plazos de entrega aproximados de estos destinos son los siguientes:
  - Los pedidos provenientes de Brasil suelen demorar aproximadamente 30 días.
  - Los pedidos desde Estados Unidos suelen demorar aproximadamente 40 días.
  - Los pedidos desde China suelen demorar aproximadamente 60 días.
  - Los pedidos locales tienen una demora menor a una semana.

En la Figura 3.10 se resaltan los países proveedores, con la cantidad de materias primas que exportan a Fanacif dentro de lo que es el alcance del problema.

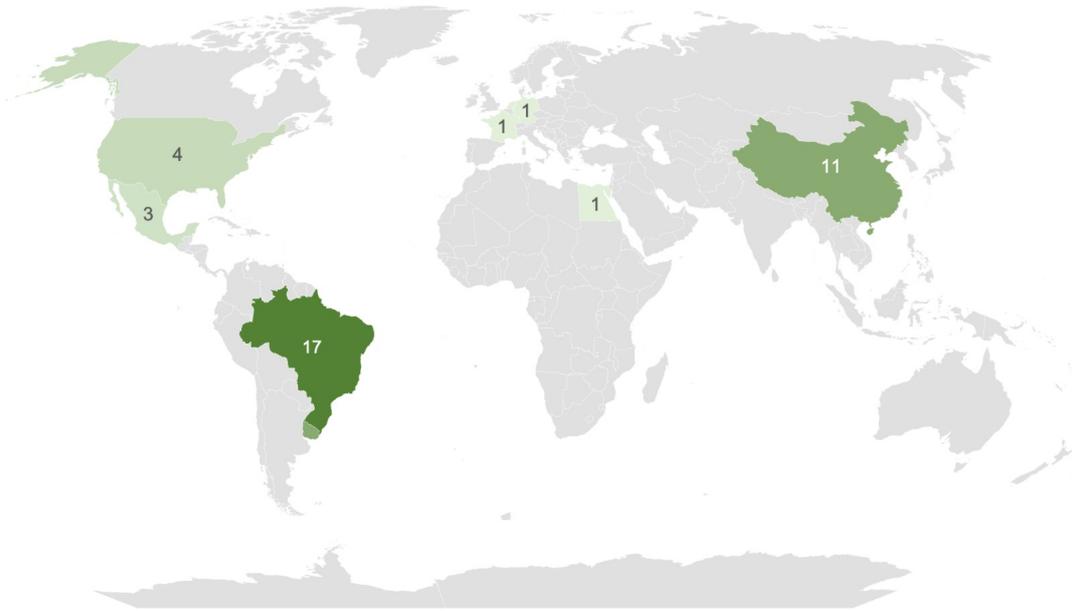


Figura 3.10: Cantidad SKUs por país  
Fuente: elaboración propia

5. La producción se realiza en base a Órdenes de Trabajo (OT). Previo a emitir una OT, se controla que los accesorios y las materias primas requeridas para la producción estén disponibles.
6. La producción de bloques se programa en base al cuello de botella (sector de prensado). Desde la emisión de la OT hasta el prensado del bloque, se promedian unos 10 días. Luego de prensado, el bloque demora otros 21 días hasta el producto terminado.
7. La producción de pastillas también se programa en base al cuello de botella (sector de prensado). Desde la emisión de la OT hasta el prensado de las pastillas pasan en promedio 4 días. Luego de prensado, se necesitan otros 4 días para que la pastilla salga como producto terminado.
8. En cintas y zapatas sucede algo similar, se programa en base al conformado o prensado. Desde la emisión de la OT hasta el conformado pasan aproximadamente 9 días. Luego de conformado se necesitan unos 26 días para obtener el producto terminado.
9. Para lo que refiere a producto terminado, se fabrican al rededor de 1100 modelos de productos diferentes, con los cuales se conforman aproximadamente 6400 ítems, dependiendo de la calidad y la marca a vender. Dentro de estos 6400 ítems se encuentran:
  - 2000 bloques
  - 650 cintas
  - 3200 pastillas
  - 300 zapatas
 entre otros productos.
10. Los pedidos del exterior suelen demorar aproximadamente 60 días en ser producidos y embarcados.
11. Se almacenan materias primas y productos terminados en tres almacenes externos a la empresa, dos de ellos están ubicados en Montevideo y el tercero en frontera.



## Capítulo 4

# Metodología de resolución

A partir de esta sección, toda la información publicada se vincula con el caso de estudio seleccionado para el proyecto correspondiente a la empresa Fanacif S.A. Considerando que parte de la información provista es de carácter confidencial, y sobre la cual la empresa solicita que no se publique expresamente, es que algunos valores suministrados son multiplicados por un factor que no se revela con el fin de cumplir con la solicitud de la compañía.

A su vez, es importante destacar que, para la definición de la metodología de resolución del problema se realiza una visita a la compañía CLC, expertos en el diseño de centros de distribución y operaciones logísticas, quienes colaboran con material de gran utilidad.

Para la resolución del problema, se emplea el método de gestión amortiguada de inventarios, fundamentado en algunos principios de la Teoría de las Restricciones:

- Responder en base a consumos reales.
- Realizar reposiciones periódicas.
- Ajustar dinámicamente los niveles de inventario.

El principio básico en este sistema de gestión es responder rápidamente a la demanda, evitando el uso de complicados sistemas de pronóstico con resultados inciertos.

Su enfoque permite realizar ajustes dinámicos, lo que facilita la adaptación rápida a estacionalidades o situaciones de crecimiento o reducción.

Para cada materia prima, se define un inventario objetivo (amortiguador) tomando en cuenta las particularidades de su perfil de demanda. Con esto, los niveles de inventario objetivo se adecúan de forma dinámica de acuerdo con la demanda real, buscando de esta manera un máximo nivel de servicio al mínimo costo.

Posteriormente, a medida que los consumos de materia prima se materializan y el inventario 'amortiguador' se consume, se realiza un seguimiento continuo sobre el stock para evitar una mayor exposición a posibles rupturas de stock, identificando cinco situaciones posibles que están asociadas a diferentes colores para facilitar su rápida interpretación:

- Negro: escasez de inventario.
- Rojo: situación crítica, se requiere una acción urgente.
- Amarillo: nivel de inventario adecuado, se requiere atención en la gestión para no ingresar en la zona roja. Si el inventario permanece en zona amarilla por varios períodos, será necesario aumentar el amortiguador.
- Verde: baja prioridad de gestión. Si el inventario permanece en zona verde por varios períodos, será oportuno disminuir el amortiguador y de esta manera reducir el inventario.

- Celeste: nivel de inventario en exceso. Se requieren acciones para liquidar o redistribuir para evitar el deterioro de las unidades.



Figura 4.1: Escala de colores del inventario.  
Fuente: elaboración propia

Para comenzar la resolución, es imprescindible contar con un histórico de entradas y salidas de mercadería, stock físico y en tránsito de cada materia prima. A su vez, otra información relevante en la resolución es:

- El lead time (LT) de entrega del proveedor.
- El tamaño del lote en que el proveedor comercializa la mercadería.
- El costo unitario de cada materia prima.
- La confiabilidad de entrega de proveedor.
- Los períodos del año en que la planta se encuentra cerrada sin producir.

Con esta información es posible determinar un amortiguador de stock para cada materia prima y para cada día. Dichos amortiguadores serán utilizados como un nivel de inventario objetivo a mantener, en base a los últimos consumos de cada materia prima, el lead time del proveedor, la frecuencia de pedido (FP) y la confiabilidad de del proveedor.

Se resalta que el lead time es propio de cada materia prima en base al origen del proveedor. Por otra parte, se define una frecuencia de pedido global para todos los artículos. En base a esto, se determina el tiempo de reposición ( $TR$ ) como la suma del lead time y la frecuencia de pedido:

$$TR_{mp} = LT_{mp} + FP \quad (4.1)$$

Previo a la determinación del amortiguador, se calcula la suma móvil de los consumos de cada materia prima desde una cantidad de días equivalente al tiempo de reposición hacia atrás, hasta la fecha en cuestión. Dicha suma móvil es una primera aproximación a la cantidad de unidades a mantener en stock para cubrir la demanda durante un tiempo de reposición.

La suma móvil ( $SM$ ), propia de cada materia prima en cada día, puede expresarse de la siguiente forma:

$$SM_{mp,f} = \sum_{i=f-TR_{mp}}^f Salidas_{mp,i} \quad \forall mp, \quad \forall f \quad (4.2)$$

donde:

- $mp$  refiere a cada materia prima del conjunto a considerar.
- $f$  es la fecha en que se calcula la suma móvil.
- Las *Salidas* incluyen cada uno de los consumos de cada una de las materias primas.

A partir de la suma móvil, se procede a la determinación del amortiguador de stock mediante la siguiente ecuación:

$$Amortiguador_{mp,f} = \max_{i=f-VA}^f (SM_{mp,i}) \cdot FC_{mp} \quad \forall mp, \quad \forall f \quad (4.3)$$

donde:

- $VA$ , o 'ventana amortiguador', es un parámetro del modelo que determina el tamaño de la ventana de días hacia atrás para la determinación del conjunto de sumas móviles que participarán en el cálculo del amortiguador. Cuanto mayor sea este parámetro, mayor será el nivel de servicio brindado, dado que podrán considerarse consumos 'atípicos'; aunque también, cuanto más grande sea, tiende a generar amortiguadores de mayor tamaño.
- $FC_{mp}$ , o 'factor de confiabilidad', es un parámetro asociado a cada proveedor en base a los cumplimientos de sus promesas de entrega de las compras. Para su determinación, se analizan los cumplimientos de los distintos proveedores y se clasifican en tres categorías diferentes, asignándole a cada categoría un factor (1.3 para los de mayor confiabilidad, 1.4 para los de confiabilidad media y 1.5 para los de menor confiabilidad).

En la Tabla 4.1 se muestra un ejemplo de demanda de una materia prima. Con estas salidas, y considerando que se tiene un  $LT = 2$  y una  $FP = 3$  ( $TR = 2 + 3 = 5$ ), es posible determinar la suma móvil de la demanda utilizando la ecuación (4.2).

Día	Salidas
1	4
2	11
3	13
4	11
5	8
6	4
7	2
8	12
9	13
10	13

Tabla 4.1: Ejemplo - Demanda de una materia prima

En la Tabla 4.2 se muestran los valores obtenidos para la suma móvil en cada uno de los días. Los valores que se encuentran resaltados en la columna 'Demanda' son los involucrados en el cálculo de la suma móvil del día 7. Luego, tomando una  $VA = 3$  y siguiendo la ecuación (4.3), es posible determinar el máximo de la suma móvil en la ventana.

En la Tabla 4.3 se muestran los resultados preliminares a la obtención del amortiguador. Al igual que en la Tabla anterior, los valores resaltados en la columna 'Suma móvil' son los que determinan el valor de la columna 'Máx. SM' del día 7. Finalmente, estos valores deben ser multiplicados por

Día	Demanda	Suma móvil (SM)
1	4	4
2	11	15
3	13	28
4	11	39
5	8	47
6	4	47
7	2	38
8	12	37
9	13	39
10	13	44

Tabla 4.2: Ejemplo - Construcción de la suma móvil de la demanda

Día	Suma móvil (SM)	Máx. SM
1	4	4
2	15	15
3	28	28
4	39	39
5	47	47
6	47	47
7	38	47
8	37	47
9	39	39
10	44	44

Tabla 4.3: Ejemplo - Obtención del máximo valor de la suma móvil en la ventana

Día	Máx. SM	Amortiguador
1	4	6
2	15	23
3	28	42
4	39	59
5	47	71
6	47	71
7	47	71
8	47	71
9	39	59
10	44	66

Tabla 4.4: Ejemplo - Construcción del amortiguador

el factor de confiabilidad del proveedor (en este ejemplo, se tiene un  $FC = 1,5$ ) para alcanzar los amortiguadores que se muestran en la Tabla 4.4.

Con los amortiguadores calculados, es posible avanzar con otros cálculos que permiten evaluar los resultados del modelo desarrollado en base a diversas métricas. Para determinar el impacto de la solución, se decide crear una simulación de evolución de stock que permita comparar al modelo con los valores reales. Para ello, se simulan las cantidades a comprar utilizando los amortiguadores correspondientes.

Luego de fijada la fecha en que comienza a simularse la situación, se determina el faltante de mercadería ( $F$ ) en unidades de cada materia prima en cada día de la siguiente forma:

$$F_{mp,f} = \max(A_{mp,f} - SF_{mp,f} - ST_{mp,f}, 0) \quad \forall mp, \quad \forall f \quad (4.4)$$

donde:

- $A_{mp,f}$  es el amortiguador de cada materia prima en cada fecha.
- $SF_{mp,f}$  es el stock físico de cada materia prima en cada fecha.
- $ST_{mp,f}$  es el stock en tránsito de cada materia prima en cada fecha.

A partir de esto, puede calcularse un sugerido de compra para cada materia prima en cada día como el faltante de stock redondeado al múltiplo superior más cercano del tamaño del lote de la materia prima en cuestión (ecuación (4.5)):

$$SC_{mp,f} = \begin{cases} 0 & \text{si no es día de compra} \\ \text{multiplo superior}(F_{mp,f}, TL_{mp}) & \text{si es día de compra} \end{cases} \quad (4.5)$$

donde:

- Si un día es de compra o no, se determina en base a la fecha de inicio del análisis comparativo y la correspondiente frecuencia de pedido elegida.
- $TL_{mp}$  es el tamaño del lote por el cual el proveedor comercializa la materia prima.

Como resultado de la aplicación de estas ecuaciones se obtiene una simulación que contempla la información que se observa en la Tabla 4.5 para cada materia prima en cada día.

Fecha	MP	SM	A	SFM	FM	SCM	STM	EM
1/2/2022	MP1	1148	1859	1401	0	0	1000	0
2/2/2022	MP1	1193	1859	1356	0	0	1000	0
3/2/2022	MP1	1260	1859	1289	0	0	1000	0
4/2/2022	MP1	1305	1859	1244	0	0	1000	0
5/2/2022	MP1	1103	1859	1244	0	0	1000	0
6/2/2022	MP1	1080	1859	1244	0	0	1000	0
7/2/2022	MP1	1170	1859	1131	0	0	1000	0
8/2/2022	MP1	1215	1859	1086	0	0	1000	0
9/2/2022	MP1	1283	1859	1019	0	0	1000	0
10/2/2022	MP1	1328	1859	951	0	0	1000	0
11/2/2022	MP1	1305	1859	929	0	0	1000	0
12/2/2022	MP1	1283	1859	929	0	0	1000	0
13/2/2022	MP1	1260	1859	929	0	0	1000	0
14/2/2022	MP1	1283	1859	861	0	0	1000	0
15/2/2022	MP1	1305	1859	839	20	0	1000	0
16/2/2022	MP1	1350	1890	794	96	0	1000	0
17/2/2022	MP1	1283	1890	1794	96	0	0	1000
18/2/2022	MP1	1328	1890	1749	141	0	0	0
19/2/2022	MP1	1283	1890	1749	141	0	0	0
20/2/2022	MP1	1283	1890	1749	141	0	0	0
21/2/2022	MP1	1350	1890	1681	209	0	0	0
22/2/2022	MP1	1395	1953	1636	317	0	0	0
23/2/2022	MP1	1485	2079	1546	533	0	0	0
24/2/2022	MP1	1485	2079	1546	533	0	0	0
25/2/2022	MP1	1485	2079	1546	533	1000	0	0
26/2/2022	MP1	1485	2079	1546	0	0	1000	0
27/2/2022	MP1	1440	2079	1546	0	0	1000	0
28/2/2022	MP1	1283	2079	1546	0	0	1000	0

Tabla 4.5: Ejemplo de simulación aplicada a una materia prima

donde:

- $SM$  es la suma móvil de la demanda.
- $A$  es el amortiguador.
- $SFM$  es el stock físico según el modelo.
- $FM$  es el faltante de stock según el modelo.
- $SCM$  es el sugerido de compra del modelo.
- $STM$  es el stock en tránsito según el modelo.
- $E$  es la entrada según el modelo.

En el caso del ejemplo de la Tabla 4.5, los demás parámetros y variables consideradas son las que se muestran en la Tabla 4.6.

<b>Lead time</b>	20 días
<b>Frecuencia de pedido</b>	14 días
<b>Tiempo de reposición</b>	34 días
<b>Lote</b>	1000 unidades
<b>Factor de confiabilidad</b>	1,4
<b>Ventana amortiguador</b>	30 días

Tabla 4.6: Ejemplo de parámetros y variables utilizadas en el análisis comparativo

## Capítulo 5

# Relevamiento y generación de datos

El primer insumo que se brinda por parte de Fanacif para comenzar con la generación de datos es un conjunto de tablas con información correspondiente a los movimientos de entrada (entrega de mercadería por parte de los proveedores) y salida (consumos en fábrica) de cada una de las materias primas.

Cada línea tiene asociada una fecha y una cantidad (medida en unidades, pero que, en todos los casos, se corresponde a kilogramos). A su vez, la planilla de entradas contiene una columna con el número de orden de compra asociado a cada ingreso. En las Tablas 5.1 y 5.2 se muestran ejemplos de estas planillas.

MP	Fecha	Movimiento	Unidades	OC asociada
1	18/2/2022	Entrada	1000	N° 97356
1	23/2/2022	Entrada	2000	N° 97357
2	25/1/2022	Entrada	20	N° 97358
2	30/1/2022	Entrada	20	N° 97359
1	1/2/2022	Entrada	180	N° 97360

Tabla 5.1: Ejemplo de entradas de mercadería

MP	Fecha	Movimiento	Unidades
1	1/9/2021	Salida	50
2	1/9/2021	Salida	4
3	1/9/2021	Salida	10
3	2/9/2021	Salida	10
3	3/9/2021	Salida	10

Tabla 5.2: Ejemplo de salidas de mercadería

Por otra parte, se brinda un inventario con el stock físico de cada materia prima en un día dado (particularmente del día 31/10/2022).

A partir de esta información, es posible construir un histórico del stock de cada materia prima y en cada día para el período dado. Dado que el dato de inventario es del último día del período, y las entradas y salidas son todas anteriores a esta fecha, es que el histórico de stock debe realizarse retrocediendo en el tiempo. Para ello, se utiliza la ecuación de balance (5.1).

$$Stock\ físico_{mp,f} = Stock\ físico_{mp,f+1} + Salidas_{mp,f+1} - Entradas_{mp,f+1} \quad (5.1)$$

Para facilitar la comprensión de esta ecuación, puede realizarse el cambio de variable  $f^* = f + 1$ , por lo que  $f^* - 1 = f$ . De esta forma, se llega al resultado expresado en la ecuación (5.2):

MP	Fecha	Stock físico
1	31/10/2022	3
2	31/10/2022	98
3	31/10/2022	20096
4	31/10/2022	7156
5	31/10/2022	1235
6	31/10/2022	1077
7	31/10/2022	22831
8	31/10/2022	19662
9	31/10/2022	48000
10	31/10/2022	1000

Tabla 5.3: Inventario base

$$Stock\ físico_{mp,f^*-1} = Stock\ físico_{mp,f^*} + Salidas_{mp,f^*} - Entradas_{mp,f^*} \quad (5.2)$$

Reordenando los términos se obtiene la ecuación (5.3).

$$Stock\ físico_{mp,f^*} = Stock\ físico_{mp,f^*-1} + Entradas_{mp,f^*} - Salidas_{mp,f^*} \quad (5.3)$$

De esta última ecuación se desprende que el stock físico de una materia prima en cualquier fecha, se determina como el stock físico al cierre del día anterior más la diferencia de los movimientos de mercadería del día, lo cual es la diferencia entre entradas y salidas del día.

Luego, a partir de la fecha en que fue generada cada orden de compra, y de sus respectivos ingresos al depósito, es posible construir el inventario en tránsito de cada materia prima en cada fecha. De esta manera, se llega a contar con el inventario físico y el inventario en tránsito (que componen el inventario total), desglosado por materia prima y fecha.

En la Tabla 5.4, se presenta un escenario de ejemplo para una materia prima dada. Aquí, el lead time del proveedor es de 5 días.

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Entradas</b>	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
<b>Salidas</b>	1	2	1	0	1	2	3	0	1	2
<b>Pedidos</b>	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stock físico</b>	20	18	17	17	16	14	21	21	20	18
<b>Stock en tránsito</b>	0	0	10	10	10	10	0	0	0	0

Tabla 5.4: Ejemplo Tabla Stock en tránsito

Con el histórico ya construido, es posible avanzar con el cálculo de los amortiguadores utilizando las ecuaciones 4.2 y 4.3. Para esto, es necesario utilizar información asociada a los proveedores (como el lead time) y definir una frecuencia de pedido. En la Tabla 5.5 se muestra un ejemplo del formato en que es presentada la información de los proveedores.

Con esta información, se procede a realizar el cálculo de los amortiguadores. En la Tabla 5.6 se muestra un fragmento del resultado que se obtiene.

En la Tabla 5.6 puede observarse el dinamismo de los amortiguadores en consecuencia de los cambios de comportamiento en la demanda de los artículos, reflejando siempre el stock objetivo del día en base a los parámetros definidos.

MP	Origen proveedor	Lead time (días)	Tamaño de lote
4	China	60	12500
5	China	60	1800
7	Brasil	30	800
8	Brasil	20	1400
17	Estados Unidos	40	10000
11	Brasil	20	1000
16	China	70	6000
22	Egipto	40	2000
35	Uruguay	1	100
49	Uruguay	3	20

Tabla 5.5: Ejemplo proveedores

Fecha	MP	Salida	Lead time	Suma móvil	Amortiguador
20/1/2020	1	727,8	60	727,8	1091,7
21/1/2020	1	121,0	60	848,8	1273,2
22/1/2020	1	391,0	60	1239,8	1859,7
23/1/2020	1	467,2	60	1707	2560,5
24/1/2020	1	438,8	60	2145,8	3218,7
25/1/2020	1	0,0	60	2145,8	3218,7
26/1/2020	1	0,0	60	2145,8	3218,7
27/1/2020	1	406,0	60	2551,8	3827,7
28/1/2020	1	448,4	60	3000,2	4500,3
29/1/2020	1	489,0	60	3489,2	5233,8
30/1/2020	1	0,0	60	3489,2	5233,8
31/1/2020	1	0,0	60	3489,2	5233,8
1/2/2020	1	471,2	60	3960,4	5940,6
2/2/2020	1	0,0	60	3960,4	5940,6
3/2/2020	1	388,8	60	4349,2	6523,8

Tabla 5.6: Ejemplo amortiguadores

## 5.1. Cierres de planta

Con el avance del proyecto y durante la generación de los amortiguadores, se identifica un problema relacionado a los valores que toman los amortiguadores los días posteriores a las paradas de planta, considerando que la misma tiene un período en el año (desde el 20 de diciembre hasta el 19 de enero del año siguiente) donde se encuentra cerrada por licencias de personal, por lo que no existen entradas ni salidas de mercadería.

Lo que se observa es una considerable disminución en el tamaño de los amortiguadores, dado que se consideraban aproximadamente 30 días de consumo nulo. Este problema se hace aún más notorio en las materias primas con menores lead time, ya que la proporción de días sin consumo que influyen en los cálculos de suma móvil y del amortiguador es más significativa.

Para evitar que esto se traduzca en una disminución en los amortiguadores (por la ausencia de consumos), y con el fin de que mantengan valores representativos a la demanda, estos días no son contabilizados en el cálculo de los mismos, tomando en las ecuaciones 4.2 y 4.3 tantos días adicionales hacia atrás como los días que la planta se encuentra cerrada.

## 5.2. Aplicación del modelo

Con los amortiguadores ya construidos, se procede a realizar una simulación de compras de materia prima utilizando la metodología desarrollada, con el fin de comparar la evolución del inventario contra

los datos que se recabaron de la situación real.

Para ello, se procede a determinar el faltante de mercadería y el sugerido de compra de cada materia prima en cada día, en función a las ecuaciones 4.4 y 4.5.

Considerando que la información disponible es desde enero del año 2020 hasta octubre del 2022, se fija como fecha de inicio para la aplicación del modelo el día 01/01/2021. Se toma esta decisión para que, al momento de comenzar el modelo, el mismo utilice un histórico de información considerable (un año) que respalde los valores iniciales que toman los amortiguadores.

A su vez, se toman como punto de inicio los valores de inventario físico y en tránsito de cada materia prima del día 31/12/2020. Además, sobre la mercadería que se encuentra en tránsito al comienzo del análisis comparativo, se realiza la suposición de que ingresa a planta transcurrido un 25% del lead time a partir del primer día de simulación.

Por otra parte, se define como criterio que toda compra realizada tiene su ingreso a planta transcurridos una cantidad de días exactamente igual al lead time del proveedor, lo cual significa que los pedidos son entregados en tiempo. Desde el día en que el modelo genera una compra hasta el día previo a la entrega por parte del proveedor, la cantidad comprada se refleja en el inventario en tránsito; luego de ello, la mercadería es sumada al inventario físico correspondiente.

En la Tabla 5.7 se muestra un ejemplo de la aplicación del modelo con la evolución de cada uno de los cálculos realizados. Para este caso, el lead time del proveedor es de 20 días, la frecuencia de pedido es de 14 días y el tamaño de lote es de 1000 unidades.

Fecha	MP	DC	A	SFM	FM	SCM	STM	EM
6/5/2021	MP11	N	2328,6	1873,8	454,8	0,0	0,0	0,0
7/5/2021	MP11	S	2391,6	1806,3	585,3	1000,0	0,0	0,0
8/5/2021	MP11	N	2391,6	1806,3	0,0	0,0	1000,0	0,0
9/5/2021	MP11	N	2391,6	1806,3	0,0	0,0	1000,0	0,0
10/5/2021	MP11	N	2486,1	1738,8	0,0	0,0	1000,0	0,0
11/5/2021	MP11	N	2549,1	1671,3	0,0	0,0	1000,0	0,0
12/5/2021	MP11	N	2549,1	1671,3	0,0	0,0	1000,0	0,0
13/5/2021	MP11	N	2549,1	1626,3	0,0	0,0	1000,0	0,0
14/5/2021	MP11	N	2580,6	1558,8	21,8	0,0	1000,0	0,0
15/5/2021	MP11	N	2580,6	1558,8	21,8	0,0	1000,0	0,0
16/5/2021	MP11	N	2580,6	1558,8	21,8	0,0	1000,0	0,0
17/5/2021	MP11	N	2580,6	1558,8	21,8	0,0	1000,0	0,0
18/5/2021	MP11	N	2580,6	1468,8	111,8	0,0	1000,0	0,0
19/5/2021	MP11	N	2580,6	1423,8	156,8	0,0	1000,0	0,0
20/5/2021	MP11	N	2580,6	1401,3	179,3	0,0	1000,0	0,0
21/5/2021	MP11	S	2580,6	1401,3	179,3	1000,0	1000,0	0,0
22/5/2021	MP11	N	2580,6	1401,3	0,0	0,0	2000,0	0,0
23/5/2021	MP11	N	2580,6	1401,3	0,0	0,0	2000,0	0,0
24/5/2021	MP11	N	2580,6	1401,3	0,0	0,0	2000,0	0,0
25/5/2021	MP11	N	2580,6	1378,8	0,0	0,0	2000,0	0,0
26/5/2021	MP11	N	2580,6	1333,8	0,0	0,0	2000,0	0,0
27/5/2021	MP11	N	2580,6	2333,8	0,0	0,0	1000,0	1000,0
28/5/2021	MP11	N	2580,6	2333,8	0,0	0,0	1000,0	0,0

Tabla 5.7: Ejemplo aplicación del modelo

donde:

- *DC* es un indicador sobre si la fecha es día de compra o no, en base a la frecuencia de pedidos.
- *A* es el amortiguador.

- *SFM* es el stock físico del día según el modelo.
- *FM* es el faltante de stock según el modelo en relación al amortiguador, considerando tanto stock físico como en tránsito.
- *SCM* es el sugerido de compra del modelo, en base a si es día de compra o no, el faltante de mercadería y el tamaño del lote.
- *STM* es el stock en tránsito según el modelo.
- *EM* es la entrada de mercadería según el modelo.

### 5.3. Costos asociados

Además de analizar los niveles de inventario, es importante para el análisis comparativo considerar los diversos costos en los que se incurren. Se identifican tres familias de costos para evaluar cada una de las situaciones:

- Costo de transporte: está directamente vinculado con el proveedor y el origen del mismo. Incluye el flete asociado, los trámites de aduana y administrativos, entre otros.
- Costo de almacenamiento: el mayor componente de este costo es el seguro, también el lugar físico y costos por alquilar lugares a terceros para almacenar. Como se explicó en el marco teórico, este costo puede ser aproximado como un 15 % valor del stock anual de cada materia prima.
- Costo de quiebre: hace referencia al costo de no producir por tener faltante de inventario físico de una cierta materia prima.

Para determinar un quiebre de stock se compara el stock físico de la materia prima en cuestión con su consumo medio (solamente considerando los días en que la materia prima es utilizada). En caso de que el stock físico sea mayor o igual al consumo medio, se considera que tiene stock suficiente; en caso contrario, el stock es insuficiente.

En la mayoría de los casos, este criterio es suficiente para detectar las roturas de stock, pero se detectan casos donde, pese a que el stock físico real es mayor al consumo medio, el comportamiento de la demanda en ciertos períodos de algunas materias primas permite concluir que también se encuentran en quiebre.

A modo de ejemplo, en la Figura 5.1 se muestra el stock físico real de una materia prima en el cual el indicador de disponibilidad utilizado por sí solo no es capaz de identificar el quiebre de stock, por lo que se lo considera de forma diferenciada.

En el gráfico superior de la Figura se muestra en color azul el stock físico real en unidades de una materia prima, a la cual el criterio mencionado anteriormente no la cataloga como con quiebre de inventario. Esto se debe a que el stock físico es, en todo momento, superior al consumo medio de dicha materia prima. En el gráfico inferior se observan los consumos de la misma materia prima, los cuales disminuyen notoriamente en la zona recuadrada en rojo, hasta que vuelve a ingresar mercadería. Esto deja en evidencia que la disminución del consumo se produce con el fin de evitar el quiebre total de stock.

Ante esta problemática, se procede a analizar individualmente cada materia prima, con el fin de identificar cada uno de estos casos, permitiendo así que el modelo pueda incorporar y analizar los costos correspondientes a los quiebres ocurridos.

Por otra parte, para determinar 'cuan' quebrada se encuentra una materia prima, se compara su stock físico con su consumo medio.

A su vez, para poder valorizar los quiebres, se genera un consumo histórico promedio de todas las formulaciones realizadas por la empresa. Dichas formulaciones se dividen en 4 líneas principales:

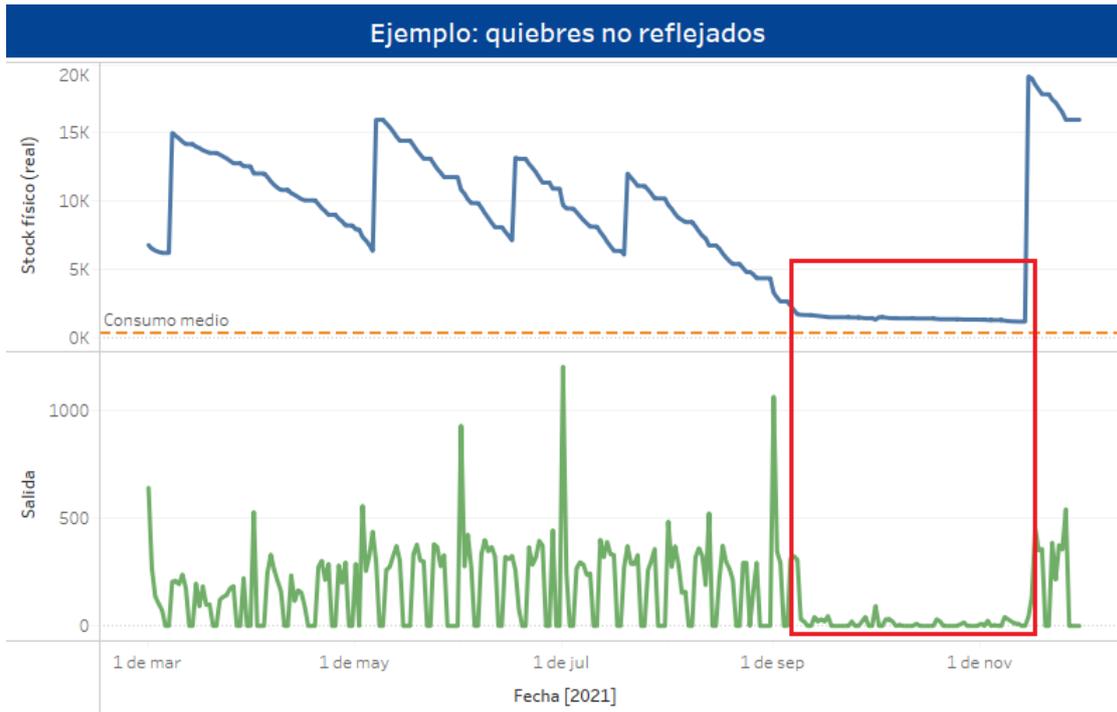


Figura 5.1: Ejemplo: quiebres no reflejados  
Fuente: Elaboración propia

pastillas, bloques, cintas y rollos. Para cada una de ellas, se conoce un margen de ganancia promedio (ver Tabla 5.8) y una producción diaria. Con esta información, es posible obtener el valor asociado al costo de quiebre para cada línea.

	Pastillas	Bloques	Cintas	Rollos
Margen unitario	7,85	46,21	8,37	19,54
Margen diario (\$)	14800	9400	1000	1000

Tabla 5.8: Margen por línea en dólares americanos

Posteriormente, se estudian todas las fórmulas de producto terminado. Cada fórmula, al igual que una receta para crear una mezcla utilizada en la producción de los productos de fricción, está compuesta por varias materias primas. Además, es posible realizar varias mezclas de una misma fórmula en un día.

Utilizando el registro histórico de las mezclas realizadas, se determina el grado de participación de cada materia prima en el total de las mezclas realizadas, lo cual permite comprender la importancia de cada SKU en potenciales situaciones de escasez o quiebre de stock.

Una de las dificultades en el proceso de valorizar los costos de quiebre, se presenta cuando varias materias primas de una misma fórmula se encuentran con insuficiencia de stock. Para solucionar este inconveniente, para cada día el modelo toma el máximo valor de quiebre de las materias primas asociadas a cada línea de producción.

## 5.4. Materias primas combinadas

Para brindarle mayor solvencia al modelo generado, se opta por agrupar las materias sustitutas bajo un mismo SKU que combine toda la información, es decir, se contabiliza el stock de cada combinación como la suma del stock de cada una de las materias primas que pertenezcan a un mismo grupo

sustituto. De esta forma, se puede dar un mejor análisis del comportamiento de inventario, ya que al analizarlas por separado, podrían verse quiebres de inventario a nivel materia prima, pero a efectos de la producción, el producto terminado no se vería afectado.

## 5.5. Herramientas utilizadas

Al momento de analizar los datos, se comienza con un modelo a escala desarrollado en Microsoft Excel [Microsoft \[2023a\]](#), tomando en consideración una única materia prima sobre la cual se realiza el análisis comparativo de pedidos y stock en base a los parámetros definidos.

Una vez conforme con el resultado y el razonamiento detrás del análisis comparativo, se procede a repetir este análisis en Power Bi [Microsoft \[2023b\]](#), dado que se considera que es una mejor herramienta para la generación de cálculos, procesamiento de la información y visualización de resultados. El intento de replicar el modelo en esta herramienta resulta fallido, dado que se obtiene una referencia circular al intentar calcular las diversas ecuaciones del modelo.

Luego de ello, se procede a intentar solucionar el inconveniente desarrollando el modelo en Tableau [Salesforce \[2023\]](#), donde nuevamente se tiene el mismo error, lo cual hace descartar ambas herramientas.

Finalmente, se opta por desarrollar todo el modelo en Microsoft Excel, pese a que el tiempo de procesamiento al realizar cada simulación en esta aplicación es relativamente alto (aproximadamente 5 minutos).



## Capítulo 6

# Análisis de resultados

En esta sección se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos al aplicar el modelo desarrollado, simulando la situación que se hubiera obtenido en años anteriores con los datos dados de consumos de cada materia prima y la utilización del modelo.

En primer lugar, se presenta la clasificación ABC del universo de productos en base a la valorización del stock. Luego, se realiza un análisis de la situación real en base al stock disponible de la planta y las necesidades de consumo que hubo. Finalmente, se presenta el análisis del resultado de la aplicación del modelo base en función a la fijación de los diferentes parámetros en valores preestablecidos.

Los aspectos más relevantes que se analizan en cada caso son los siguientes:

- **Stock total valorizado:** considera tanto el stock físico como el stock en tránsito de forma valorizada. Permite comparar los diferentes casos de forma global.
- **Disponibilidad de materias primas:** este indicador, expresado como porcentaje, refleja la proporción de productos que presentan un stock físico suficiente para cubrir el consumo de un día, en base a su demanda promedio.

Una alta disponibilidad de materias primas permite cumplir en tiempo y forma con los compromisos pactados, dando lugar a mantener un alto grado de confiabilidad con los clientes de la empresa.

Los quiebres de stock no solo conllevan retrasos en la producción de los requerimientos de los clientes, sino que también se traducen en ineficiencias operativas.

- **Exceso de inventario valorizado:** muestra aquel inventario 'no saludable' presente en planta. Todo el inventario que se encuentra en esta situación, representa un capital estancado con un costo de oportunidad asociado.

Siempre que el stock total sea superior al valor del amortiguador, se calcula como la diferencia entre estas dos medidas, multiplicada por el costo del artículo en cuestión. En caso contrario, el exceso es de valor cero.

- **Evolución del inventario:** se clasifica el inventario de cada día según las diversas situaciones y colores posibles mostrados en la Figura 4.1, y se analizan evolutivamente los resultados.
- **Meses de stock:** representan los meses de disponibilidad de cada una de las diferentes materias primas, tomando en cuenta el stock a la fecha y los consumos en un período de tiempo determinado.
- **Retorno de la inversión:** representa la utilidad neta obtenida en relación a la inversión realizada.

Por otra parte, se desarrolla un análisis de costos distinguidos en tres tipos, con el fin de evaluar el impacto del modelo y de cada uno de los parámetros utilizados en el mismo. Los tipos de costos que se contemplan son los siguientes:

- Costo de transporte
- Costo de almacenamiento
- Costo de quiebre o rotura de inventario

A modo de observación, cuando se cuantifique el dinero, será en dólares estadounidenses y se representará como "\$".

## 6.1. Clasificación ABC

Con el fin de facilitar el análisis y ayudar en la toma de decisiones, se realiza una priorización de las materias primas según el criterio ABC, para detectar cuáles de ellas son las que generan mayor impacto en las acciones que se llevan a cabo.

Para ello, se toma el histórico de stock total real de cada materia prima, y se las ordena en forma descendente según el promedio diario de la valorización del inventario. Esta valorización proviene del producto del stock por el costo de compra.

Luego, con las materias primas ordenadas en base al criterio mencionado, se calcula el porcentaje acumulado de inventario valorizado, para luego proceder a realizar la clasificación. En el anexo .1 se observa el total de productos con su correspondiente clasificación, donde se tienen los siguientes casos:

- El nivel A lo integran un 24 % de las materias primas, que representan el 79 % del stock total valorizado.
- Otro 24 % de las materias primas componen el nivel B, significando el 15 % del inventario valorizado.
- El 52 % restante de las materias primas integran el nivel C, las cuales acumulan solamente un 5 % del stock valorizado de la compañía.

## 6.2. Situación real

### Proveedores

Como se muestra en el Capítulo 3, resulta importante destacar la variedad de orígenes de los proveedores de materias primas con los que cuenta Fanacif. Los proveedores del extranjero se distribuyen en ocho países diferentes, a los cuales deben adicionarse los proveedores locales. En la Tabla 6.1 se muestra la cantidad de materias primas asociadas a cada país de origen:

País	Cantidad MP
Brasil	17
China	11
Uruguay	11
Estados Unidos	4
México	3
Alemania	1
Egipto	1
Francia	1
Holanda	1

Tabla 6.1: Materias primas por país de origen

## Inventario valorizado

En la Figura 6.1 se muestra la evolución por trimestre del promedio diario de inventario total valorizado de Fanacif desde el año 2020 versus la evolución de la demanda acumulada valorizada. En ambos casos se observan sendos aumentos a partir del año 2021.

En términos totales, el promedio de stock valorizado diario oscila en el rango entre \$1.000.000 y \$2.000.000, mientras que la demanda trimestral acumulada valorizada se sitúa entre \$500.000 y \$1.100.000.

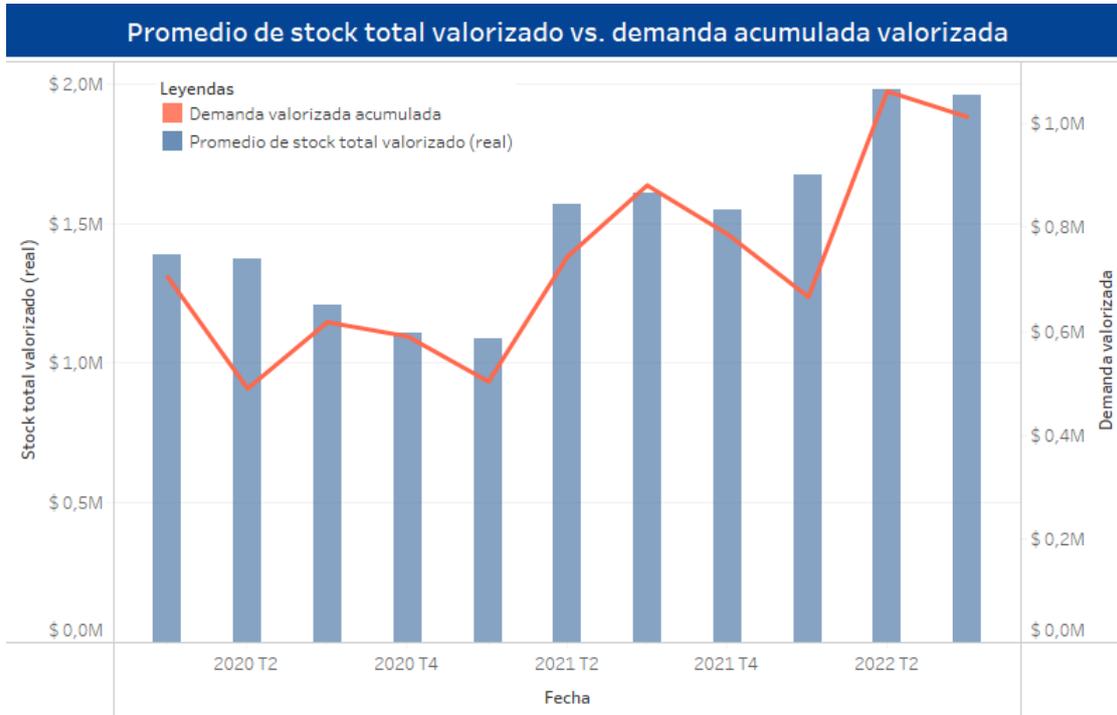


Figura 6.1: Stock total promedio valorizado y demanda acumulada valorizada por trimestre (real)  
Fuente: elaboración propia

## Rotación de inventario

Si se analiza el comportamiento de las materias primas con clasificación A respecto a los meses de inventario físico, se ve que este indicador oscila entre 0.9 y 11.5 meses de stock en los tres años considerados. En la Tabla 6.2 se puede ver el promedio de meses de inventario físico por año de los artículos 'A'. En promedio, las materias primas de esta categoría tienen en torno a tres meses de inventario físico en planta.

En cuanto a los demás artículos, en la Tabla 6.3 se muestra la evolución de los meses de inventario promedio de cada categoría. De allí se desprende que las categorías 'B' y 'C' tienen valores muy dispares a los de la categoría 'A', lo cual puede resultar lógico por la relevancia de cada una de estas materias primas.

Un aspecto que no debe dejarse de lado, es que el período analizado comprendido entre los años 2020 y 2022 tuvo como hecho relevante a nivel mundial la presencia de la pandemia por coronavirus, más conocida como COVID-19. Entre otras tantas consecuencias de esta pandemia, se encuentran el incremento de la demanda en el sector logístico a nivel internacional [Cecilia Barría - BBC News Mundo \[2021\]](#), lo cual resultó en un aumento de precios en los envíos internacionales, así como también un aumento en los tiempos de entrega por la falta de capacidad de respuesta de los diferentes proveedores. Además, las medidas de cuarentenas implementadas en varios países tuvieron un impacto negativo en las entregas de mercadería.

MP	Año		
	2020	2021	2022
MP1	4,9	2,8	2,1
MP2	3,7	1,9	2,3
MP4	3,7	1,2	1,5
MP5	2,4	2,0	5,2
MP9	4,5	3,1	2,8
MP22	2,9	1,8	2,0
MP34	1,9	1,0	0,6
MP38	2,1	1,6	11,5
MP39	0,9	4,5	3,7
MP44	3,4	3,3	4,9
MP46	1,8	2,2	2,5
MP48	3,8	7,8	3,9
<b>Promedio</b>	<b>3,0</b>	<b>2,8</b>	<b>3,6</b>

Tabla 6.2: Media de meses de inventario físico de materias primas con clasificación A (real)  
Fuente: elaboración propia

Categoría	Año		
	2020	2021	2022
A	3,0	2,8	3,6
B	10,9	6,3	7,9
C	15,9	9,8	5,2

Tabla 6.3: Media de meses de inventario físico por categoría (real)  
Fuente: elaboración propia

### Retorno de la inversión

Siguiendo la ecuación (2.5), y considerando que el % de margen es de 13,7% (según información aportada por la empresa), se obtiene la evolución del retorno de la inversión para los años 2020 a 2022 que se refleja en la Tabla 6.4.

Año	Margen	Ventas	Inventario medio MP	Otras inversiones	ROI
2020	13,7%	\$ 18.060.409	\$ 1.261.474	\$ 4.204.914	45,3%
2021	13,7%	\$ 17.101.534	\$ 1.454.597	\$ 4.848.658	37,2%
2022	13,7%	\$ 18.593.270	\$ 1.862.550	\$ 6.208.499	31,6%

Tabla 6.4: Retorno de la inversión (real)  
Fuente: elaboración propia

donde:

- MP son materias primas.
- Otras inversiones incluye principalmente productos semielaborados y terminados.

A modo de observación, se aclara que para los cálculos asociados al ROI se toma como regla que el inventario en materias primas corresponde a un 30% del total de las inversiones, tras consultas a la contra parte.

### Disponibilidad

La disponibilidad promedio de materias primas a nivel mensual se ubica en un rango entre 93.9% y 99.9%, con fluctuaciones importantes de un mes a otro, como se puede observar en la Figura 6.2.

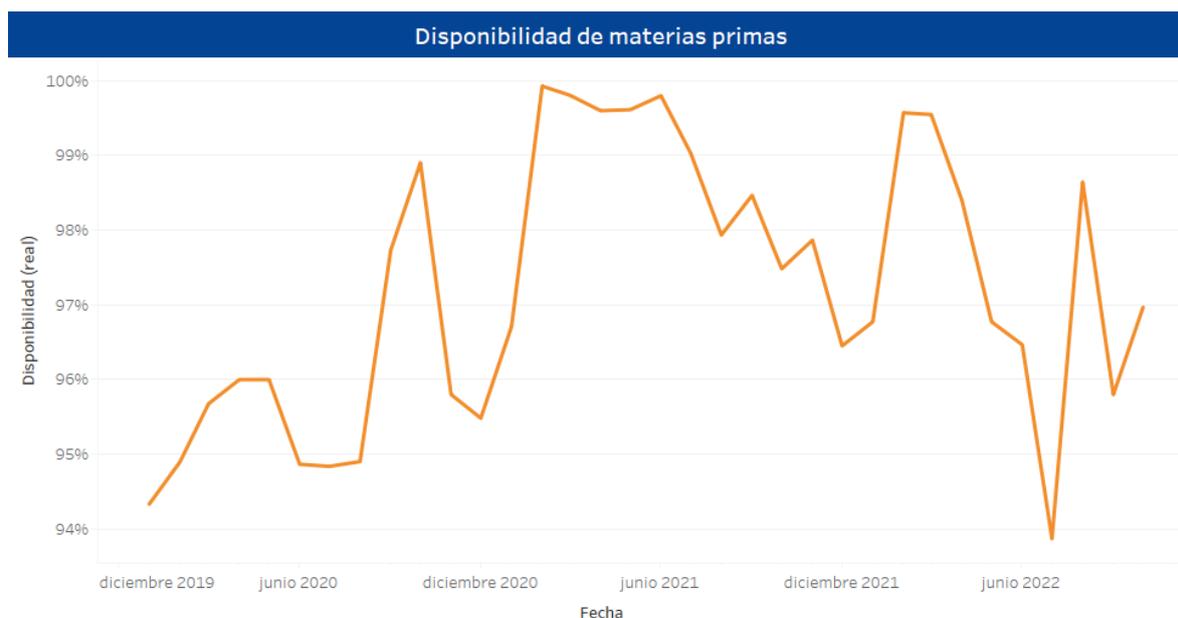


Figura 6.2: Promedio de disponibilidad de materias primas (real)  
Fuente: elaboración propia

Cada vez que se tenga una disponibilidad de inventario inferior al 100 %, esto se traduce en un costo de oportunidad por un faltante de una cierta materia prima que impide que la producción se realice bajo la programación estipulada.

Por otra parte, si se aprecia la media anual de la disponibilidad por categoría según la Tabla 6.5, las mayores oportunidades de mejora parecen presentarse en los artículos de categorías 'A' y 'B'; puntualmente en estos últimos, la disponibilidad se ha dado a la baja de un año a otro consecutivamente.

Año	Clasificación		
	A	B	C
2020	96,3 %	97,9 %	94,7 %
2021	97,8 %	96,6 %	99,8 %
2022	97,6 %	94,1 %	98,6 %

Tabla 6.5: Disponibilidad anual promedio por categoría (real)

### Inventario en exceso

En la Figura 6.3 se puede apreciar la evolución diaria del exceso de inventario en comparación con el stock total valorizado. El valor mínimo del excedente valorizado ronda los \$300.000, mientras que su promedio en todo el período considerado es de aproximadamente \$760.000.

Se puede apreciar que, al comienzo de la Figura, en enero del 2020, el valor del stock total valorizado es muy similar al valor del excedente de stock. Esto se debe a que los amortiguadores se comenzaban a generar, por lo que los valores resultantes no son representativos con la situación del momento.

Por otra parte, visualizando la Figura se desprende que el excedente de inventario ronda en valores cercanos al 50 % del stock total, lo cual permite dimensionar lo relevante de la cantidad de capital que se encuentra parado en fábrica, reflejando los costos de oportunidad que se tienen en este aspecto.



Figura 6.3: Exceso de inventario y stock total valorizado (real)  
Fuente: elaboración propia

### Semáforos según amortiguadores

En las Figuras 6.4 y 6.5 se puede ver la evolución del inventario total de dos materias primas en particular (MP1 y MP40) en comparación con sus respectivos amortiguadores divididos en secciones por colores.

Para la construcción de los amortiguadores, se utilizan los parámetros asociados al modelo base, el cual se describe en la siguiente sección.

Como se explica previamente, en las Figuras de semáforo se distinguen cinco posibles escenarios en función al valor del amortiguador diario.

- Zona negra: escasez de inventario (0 % del amortiguador).
- Zona roja: situación crítica (hasta un 33 % del amortiguador).
- Zona amarilla: nivel de inventario adecuado (33 % al 66 % del amortiguador).
- Zona verde: baja prioridad de gestión (66 % al 100 % del amortiguador).
- Zona celeste: nivel de inventario en exceso (superior al 100 % del amortiguador, aunque, por simpleza en la construcción de las Figuras, se limita a un 133 % del amortiguador).

Más allá de la diferencia en cuanto a la cantidad de unidades entre estas dos materias primas, de las Figuras se desprende que en ambos casos el inventario total se encuentra considerablemente por encima de las zonas de inventario adecuado, provocando un exceso de existencias.

Puntualmente en el caso de la MP40, se observa que el tamaño de los lotes de entrega por parte de los proveedores (superior al valor del amortiguador prácticamente en todo momento), lleva a que el stock se encuentre todo el tiempo en zona de sobrestock.

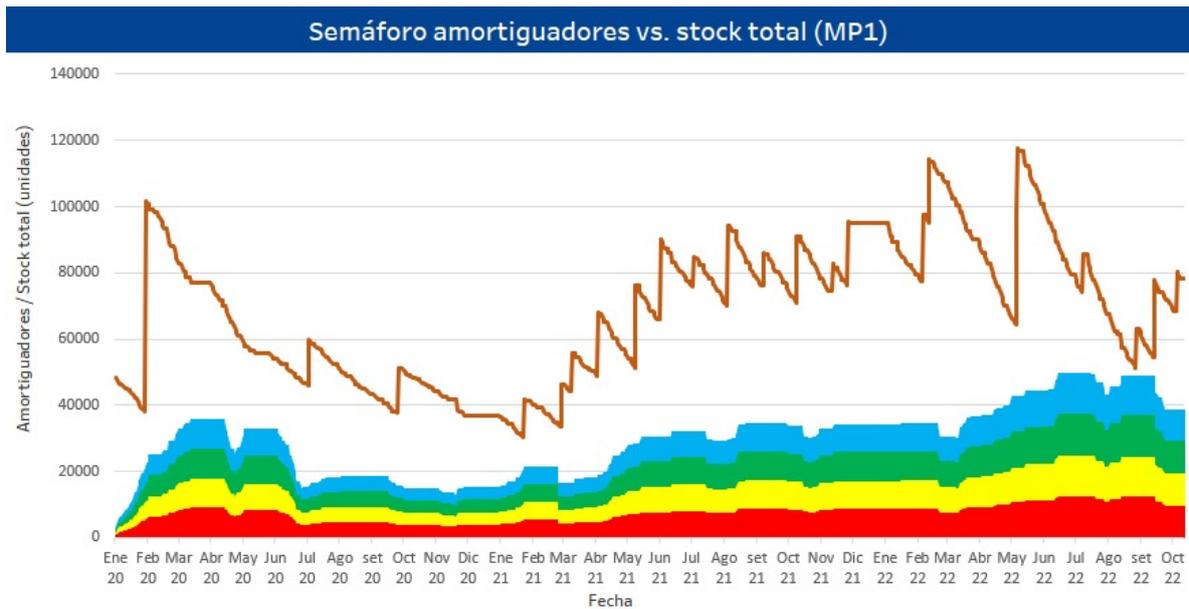


Figura 6.4: Semáforo amortiguador y stock total real (MP1)  
 Fuente: elaboración propia

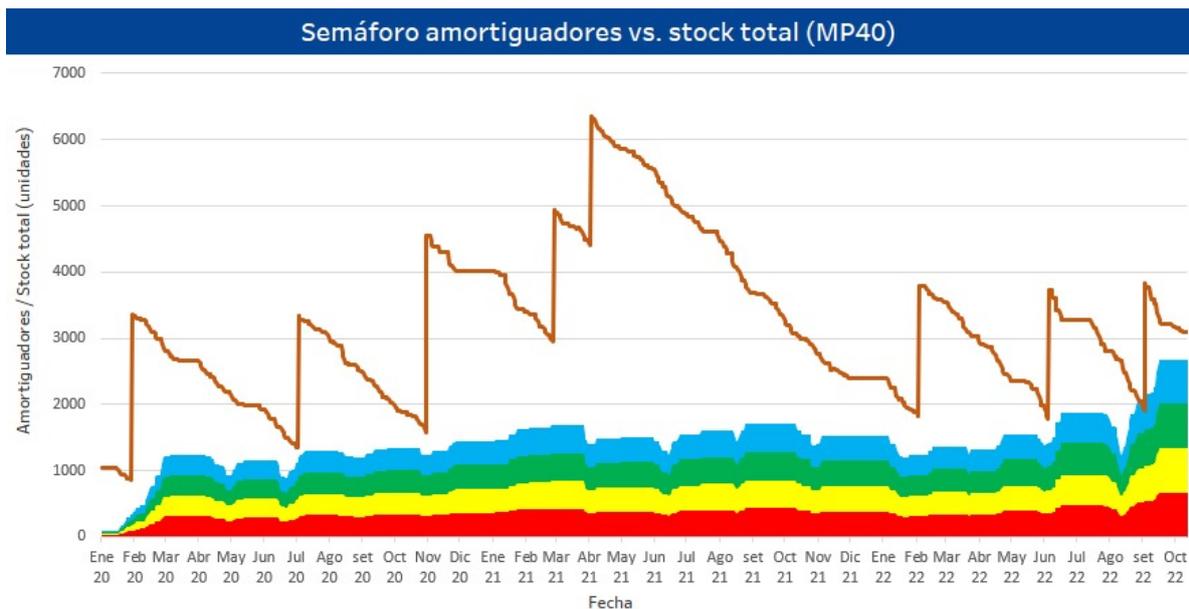


Figura 6.5: Semáforo amortiguador y stock total real (MP40)  
 Fuente: elaboración propia

## 6.3. Modelo base

### Introducción

Previo a realizar el análisis del resultado de la aplicación de la metodología TOC a la cadena de suministros de Fanacif, enfocado en la gestión de compras y el inventario de materia prima, es relevante destacar que, a priori, es de esperar ver reflejados determinados cambios:

- Optimización del inventario
- Reducción de costos de almacenamiento
- Mejora en la eficiencia de compras

En resumen, aplicar Teoría de las Restricciones a la gestión de inventarios y compras, debe representar un ahorro sustancial para la compañía, traducida también en mejoras operativas.

En consonancia con lo explicado anteriormente, el modelo planteado presenta modificaciones metodológicas en contraste a las prácticas realizadas en la actualidad dentro de Fanacif. Específicamente, se destacan dos cambios primordiales:

- Establecer un amortiguador para cada una de las materias primas, mediante el análisis del consumo de ellas en un período de tiempo breve, para no sobredimensionar el amortiguador y generar excesos de inventario innecesarios.

Cabe recordar que dentro de la construcción de los semáforos se contemplan factores de seguridad para cada una de las materias primas, los cuales se basan en la confiabilidad de los proveedores. De esta manera, se busca mantener un nivel elevado de la disponibilidad de las materias primas en todo momento.

- Disminuir la frecuencia de pedidos, reduciendo los días necesarios para realizar una evaluación del inventario. El modelo planteado consiste en realizar una revisión de todas las materias primas cada 14 días, donde el resultado de esta revisión determina si es necesario realizar un pedido o no, comparando el stock total con el amortiguador construido para cada una de las materias primas.

### Parámetros utilizados

Para el análisis comparativo de pedidos inicial, se corre el modelo utilizando los siguientes valores en los parámetros definidos en el Capítulo 4.

- Frecuencia de pedidos ( $FP$ ): 14 días.
- Ventana amortiguador ( $VA$ ): 30 días.
- Fecha de inicio del análisis comparativo: 01/01/2021.

Para la asignación de los factores de confiabilidad ( $FC$ ), se realiza una comparación entre la promesa de entrega de cada proveedor y el lead time promedio en que fueron entregadas las órdenes de compra recabadas. En base a esto, se clasifican a las materias primas en tres grupos, donde a cada grupo se le asignan los siguientes factores:

- Proveedores con confiabilidad alta:  $FC = 1, 3$ .
- Proveedores con confiabilidad media:  $FC = 1, 4$ .
- Proveedores con confiabilidad baja:  $FC = 1, 5$ .

En base a esto, las materias primas quedan distribuidas según se muestra en la Tabla 6.6.

En la Figura 6.6 puede observarse el momento en que comienza el análisis comparativo para el caso del producto MP22. A partir de esto, se visualiza una significativa disminución del stock total con el transcurso de las semanas hasta encontrarse en valores en torno al del amortiguador.

Factor 1,3	Factor 1,4	Factor 1,5
MP1	MP6	MP2
MP7	MP10	MP3
MP8	MP11	MP4
MP9	MP13	MP5
MP16	MP15	MP12
MP17	MP21	MP14
MP19	MP27	MP18
MP22	MP29	MP20
MP24	MP43	MP23
MP31	MP50	MP25
MP33		MP26
MP37		MP28
MP38		MP30
MP40		MP32
MP41		MP34
MP42		MP35
MP44		MP36
MP45		MP39
MP46		MP49
MP47		
MP48		

Tabla 6.6: Asignación de factores de confiabilidad

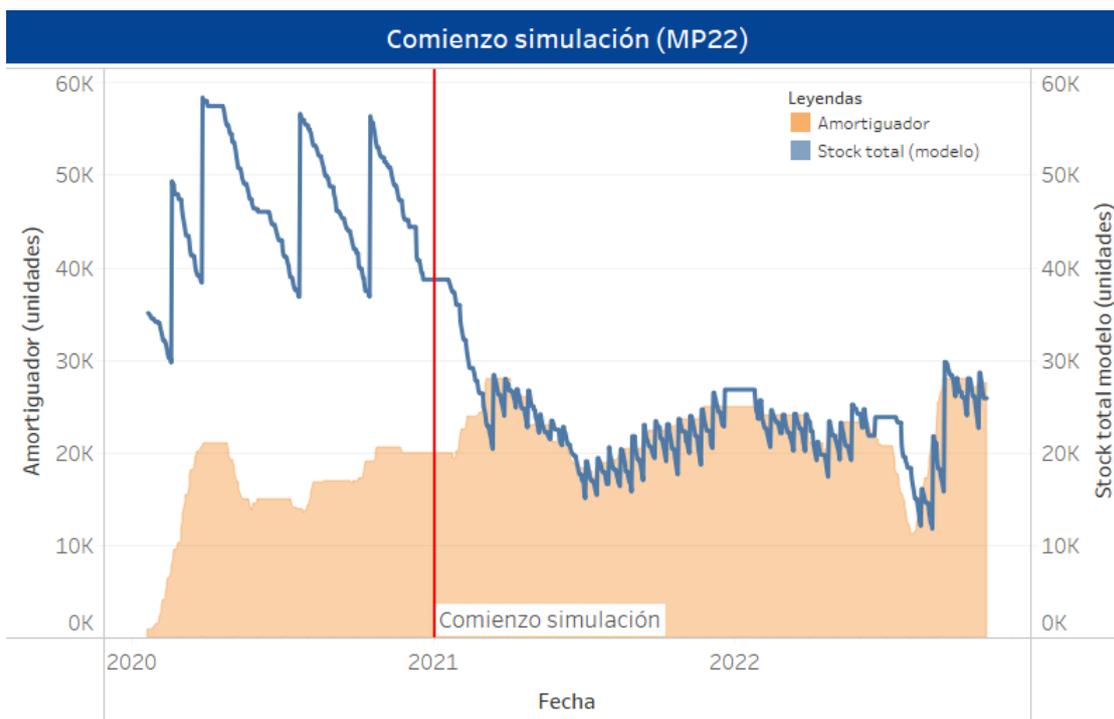


Figura 6.6: Comienzo de simulación (MP22)  
Fuente: elaboración propia

### Evolución de inventario

Un punto de partida para comenzar a analizar el modelo base es examinar el stock físico acumulado de todas las materias primas, para entender cómo afecta la aplicación del modelo en la valoración de las existencias en planta.

La Figura 6.7 muestra resultados dispares, ya que, al comienzo del análisis comparativo, la valoración del stock total según el modelo tiende a crecer muy rápidamente en contraste con la situación real, algo que comienza a revertirse algunas semanas después.

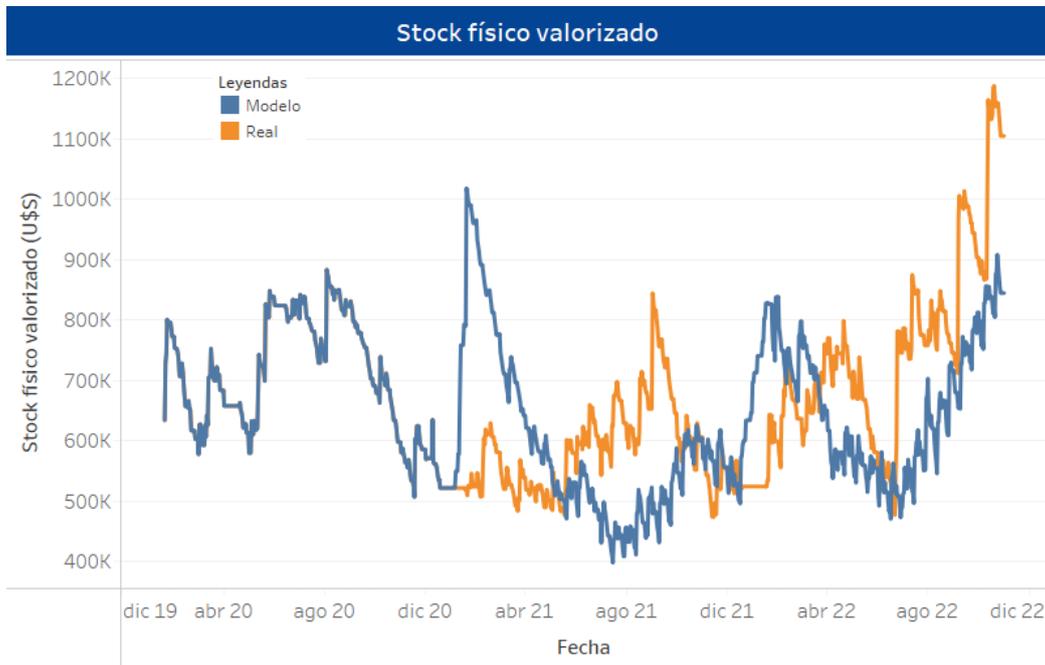


Figura 6.7: Stock físico valorizado (modelo base)

Fuente: elaboración propia

Es relevante mencionar que este incremento abrupto del stock físico en el modelo nada más comenzado el análisis comparativo, se explica por la suposición de que toda la mercadería que se encuentra en tránsito al 01/01/2021, tiene un ingreso a planta transcurrido un 25 % del lead time de cada materia prima, mientras que en la situación real los ingresos se producen durante un período de tiempo más prolongado. De todas formas, la Figura permite apreciar como con el transcurso del tiempo este pico de stock se normaliza y no se vuelve a repetir.

En el caso del aumento que se presenta a partir del mes de diciembre de 2021, el mismo se asocia a la recepción de compras realizadas en semanas anteriores que tienen el ingreso a planta durante el período de inactividad de la misma, donde no se tienen consumos.

En el resto del período, el stock valorizado según el modelo se encuentra mayoritariamente por debajo del stock valorizado real.

Por otra parte, en la Figura 6.8, se puede apreciar una disminución de la cantidad de unidades totales desde el inicio de la implementación del modelo, dada principalmente por la reducción del inventario en tránsito.

Particularmente en esta Figura, también se observan más definidos los 'dientes de sierra' en la evolución del stock del análisis comparativo realizado a partir de la aplicación del modelo. Este fenómeno se da, principalmente, por la fijación de la frecuencia de pedido en un plazo fijo (en este caso de 14 días), generando estos días la acumulación del inventario en tránsito de todas las órdenes de compra emitidas.

También, en la Figura puede apreciarse una meseta entre diciembre de 2021 y enero de 2022, tanto para la situación real como para el modelo, provocada por la parada anual de planta, donde no se ve modificado el inventario.

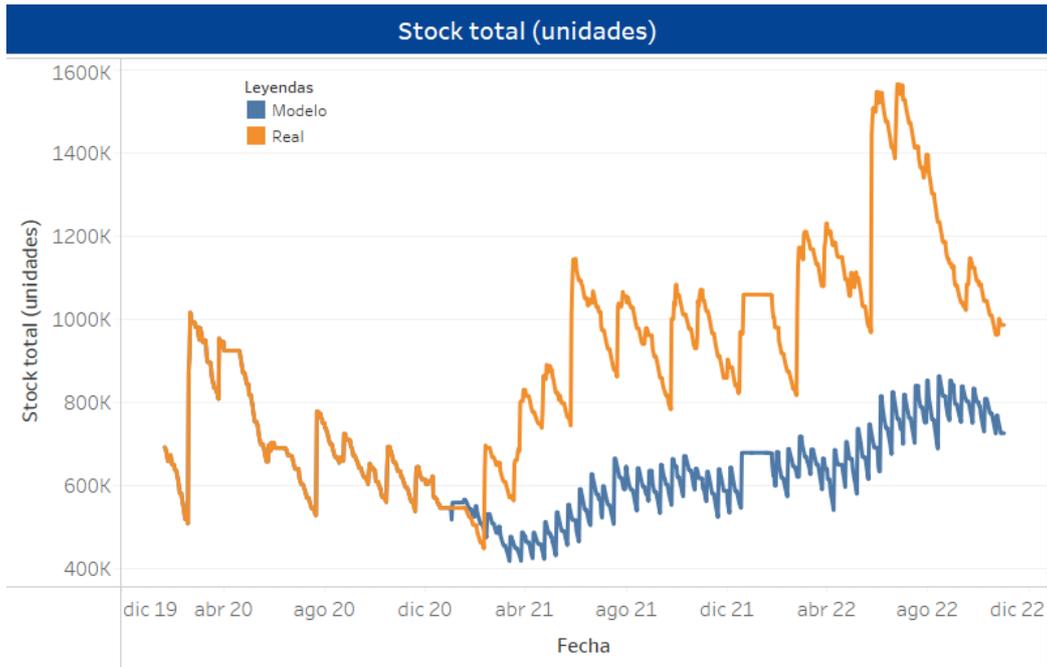


Figura 6.8: Comparación de stock total en unidades entre situación real y modelo  
Fuente: elaboración propia

A su vez, con el modelo se observa que los niveles de inventario se encuentran en rangos más estables que en la situación real, donde hay mayores fluctuaciones. Esto último puede ser un primer síntoma de sobrestock en algunas materias primas.



Figura 6.9: Stock total valorizado - Evolución mensual del promedio diario (real vs. modelo base)  
Fuente: elaboración propia

Para poder dimensionar de mejor forma lo que representa la aplicación de una metodología TOC, se hace una comparación mensual del promedio diario del stock total valorizado, tanto real como modelado, como puede verse en la Figura 6.9. A partir de febrero de 2021 se puede empezar a visualizar

un efecto positivo de la implementación de la nueva metodología, teniendo, ya en ese mes, aproximadamente \$64.000 de diferencia de inventario, lo que representa alrededor de un 6 % del stock valorizado total en la situación real, que refleja un impacto inmediato de la aplicación de TOC.

Si bien no parece ser un cambio significativo en los primeros dos meses, con el correr del tiempo se puede apreciar aún más la diferencia de inventario respecto a la situación real, alcanzando como mayor diferencia más de \$1.000.000 en junio del 2022, y en promedio, por encima de los \$500.000.

A nivel anual, en el primer año de simulación, el modelo permite una reducción promedio del inventario valuada en \$469.000, lo cual significa un 32 % menos en comparación con la situación real. En el año 2022 (enero a octubre) la diferencia es aún mayor, ya que la reducción media aumenta hasta \$679.000, representando un 36 % menos versus la situación real.

**Entradas por país**

Al realizar un análisis del stock total, resulta evidente el gran peso que tienen las entradas de materias primas a fábrica. Analizando la Figura 6.10, donde se ven representadas las entradas en unidades, abierto por país, año y situación (real o modelado), se pueden dar distintos enfoques para determinar distintos aspectos de como funciona el modelado. Si se ve cómo se desempeña el 2021, el modelo sugiere pedir alrededor de 150.000 unidades por encima de lo que sucede en la situación real. Esto se debe a que, al comienzo, el modelo busca abultar compras en materias primas que se encuentran con baja disponibilidad para mejorar esta situación.

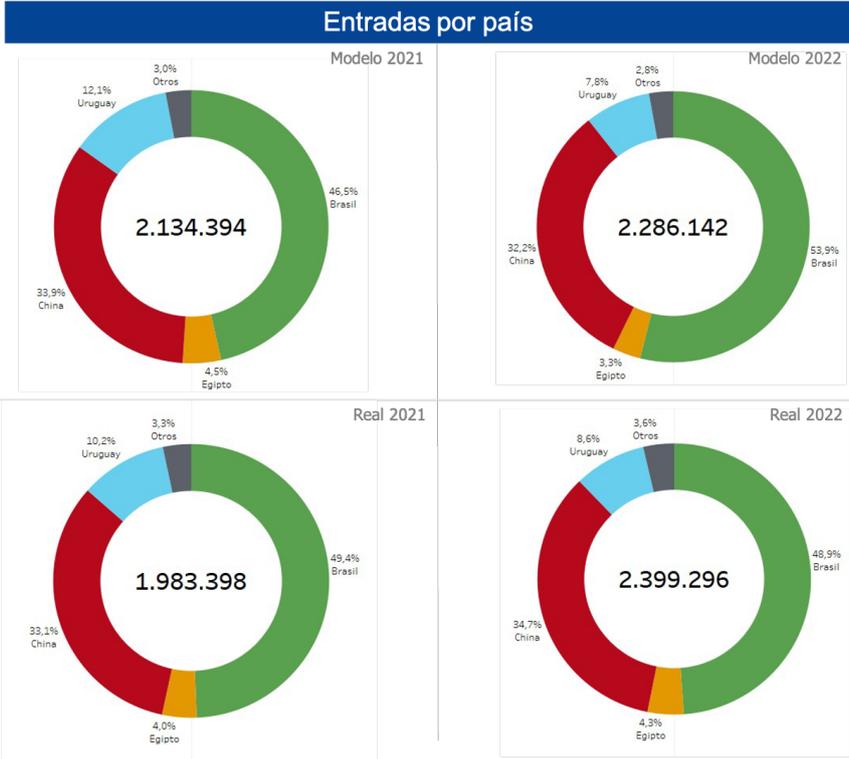


Figura 6.10: Entradas por país en unidades diferenciadas por país y situación (real vs. modelo base)  
Fuente: elaboración propia

Visualizando el año 2022, se detecta que ocurre lo inverso al 2021; si bien aumenta la compra tanto del modelo como de la situación real en comparación al año anterior (aún con algo menos de dos meses para el cierre del año), en este caso es la situación real que compra más 110.000 unidades por encima de lo que el modelo sugiere, lo que posiblemente lleve a generar sobrestock en algunas materias primas y, por ende, perder la posibilidad de generar ahorros.

Adentrando el análisis en el aporte por país de las entradas, se puede apreciar que claramente Brasil y China componen el mayor ingreso de materias primas, tanto en la situación real como en el modelo, aportando en todos los casos más del 80% del total de entradas. Esto se debe a que Brasil provee el 34% de los materiales, es decir, 17 SKUs distintos y China el 22%, por lo que juntos, representan más del 50% de los materiales que se deben comprar. Puede resultar entonces confuso el caso de comprar en plaza, ya que Uruguay también cuenta con 11 SKUs pero el aporte en las entradas oscila entre 8-12%, que se debe a que el lote mínimo es mucho más grande para países foráneos, así como el lead time es mucho menor para el territorio nacional, por lo que la compra sugerida tiende a ser bastante menor. Esto también se ve reflejado en la cantidad de veces que el modelo sugiere comprar: mientras que para Uruguay sugiere realizar 311 compras diferentes, a proveedores brasileros se les realizan 267 compras, y finalmente a China 176 veces.

### Rotación de inventario

En cuanto a rotación de inventario, si se compara la aplicación del modelo contra la situación real reflejada en la Tabla 6.7, se observa que los artículos con clasificación A mantienen el mismo valor de meses de inventario medio en el año 2021, mientras que para 2022 se observa una mejoría en este indicador, bajando a 3.1 meses. En la Tabla mencionada puede observarse el detalle de meses de inventario para todos los artículos con clasificación A.

MP	Año			
	2021		2022	
	Real	Modelo	Real	Modelo
MP1	2,8	1,5	2,1	1,2
MP2	1,9	1,8	2,3	2,2
MP4	1,2	1,8	1,5	2,0
MP5	2,0	3,1	5,2	4,6
MP9	3,1	2,7	2,8	2,0
MP22	1,8	1,8	2,0	1,6
MP34	1,0	1,6	0,6	1,8
MP38	1,6	2,0	11,5	10,3
MP39	4,5	4,8	3,7	4,6
MP44	3,3	3,3	4,9	3,1
MP46	2,2	2,0	2,5	1,9
MP48	7,8	7,8	3,9	1,9
<b>Promedio</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>3,6</b>	<b>3,1</b>

Tabla 6.7: Media de meses de inventario físico de MP con clasificación A (real vs. modelo base)  
Fuente: elaboración propia

Respecto a los artículos de las demás categorías (ver Tabla 6.8), se observan mejoras en ambos años en las materias primas de clasificación B (de 6.3 a 5.8 meses en el año 2021, y de 7.9 a 2.9 en el 2022, en la situación real vs. el modelo respectivamente), mientras que en los de clasificación C la situación empeora en ambos años.

Categoría	Año			
	2021		2022	
	Real	Modelo	Real	Modelo
A	2,8	2,8	3,6	3,1
B	6,3	5,8	7,9	2,9
C	9,8	11,2	5,2	5,5

Tabla 6.8: Media de meses de inventario físico por categoría (real vs. modelo base)  
Fuente: elaboración propia

## Retorno de la inversión

Para poder explicar el retorno de la inversión (ROI) es importante destacar que Fanacif estima el margen de ganancia en 13,7%, tanto para 2021 como para 2022. Luego, una vez dado el margen de ganancia, es importante calcular el beneficio neto, que representa la diferencia entre las ventas y los gastos. Para este caso el beneficio neto se ve como el producto de las ventas y el margen. De esto se obtiene que para 2021, hubo \$2.342.910 de beneficio neto y \$2.547.319 en 2022.

Luego, se calcula el total de la inversión, representada por el inventario de materias primas y el resto de las inversiones, obteniendo \$5.834.242 y \$7.391.396 del total de inversión para el 2021 y 2022 respectivamente.

Finalmente, se calcula el ROI como el cociente entre el beneficio neto y el total de la inversión, obteniendo entonces la Tabla 6.9, donde se muestran los resultados obtenidos para el retorno de la inversión a partir de la aplicación del modelo en los años 2021 y 2022.

Año	Margen	Ventas	Inventario medio MP	Otras inversiones	ROI
2021	13,7%	\$ 17.101.534	\$ 985.584	\$ 4.848.658	40,2%
2022	13,7%	\$ 18.593.270	\$ 1.182.897	\$ 6.208.499	34,5%

Tabla 6.9: Retorno de la inversión - Modelo base

A su vez, en la Tabla 6.10 puede observarse la comparación entre la situación real de estos años y la aplicación del modelo desarrollado.

Año	ROI real	ROI modelo	Relación
2021	37,2%	40,2%	108,0%
2022	31,6%	34,5%	109,2%

Tabla 6.10: Retorno de la inversión - Real vs. modelo base

De estos datos se desprende que la aplicación del modelo mejora el retorno de la inversión de la compañía en un 8,6%, en promedio.

Considerando que el universo de productos que se incluyen dentro del proyecto alcanza solamente a las materias primas utilizadas en el proceso de producción, y que en la visita a planta realizada a Fanacif la contraparte por la empresa manifiesta que los problemas de exceso de inventario se extienden también hacia productos semielaborados y terminados, es que decide realizarse una proyección del ROI que podría obtenerse en caso de ampliar el alcance del proyecto a la totalidad del inventario. Este calculo se realiza bajo la hipótesis de que las mejoras logradas en el inventario de materias primas son extrapolables al resto de activos inventariados. Los resultados se reflejan en la Tabla 6.11

Año	Margen	Ventas	Inventario medio MP	Otras inversiones	ROI
2021	13,7%	\$ 17.101.534	\$ 985.584	\$ 3.285.279	54,9%
2022	13,7%	\$ 18.593.270	\$ 1.182.897	\$ 3.942.991	49,7%

Tabla 6.11: Retorno de la inversión - Modelo base

En base a la estimación previa, la Tabla 6.12 refleja el posible aumento del ROI con respecto al caso real.

Tomando en cuenta las consideraciones previas, se puede estimar que al aplicar el modelo en la totalidad del inventario de Fanacif podría representar un crecimiento superior al 50% del retorno de la inversión respecto al caso real, lo cual supone un muy buen resultado y que puede transformarse en una meta a seguir por parte de la empresa.

Año	ROI real	ROI modelo	Relación
2021	37,2 %	54,9 %	147,6 %
2022	31,6 %	49,7 %	157,5 %

Tabla 6.12: Retorno de la inversión proyectado - Real vs. modelo base

## Disponibilidad

En la Figura 6.11 se muestra tanto la disponibilidad mensual real de las materias primas como la disponibilidad mensual obtenida a partir del modelo simulado. Ambas situaciones presentan valores buenos, donde la real tiene su menor valor en 93,9% en julio de 2022, pero el modelo base mejora los porcentajes, manteniéndose en valores muy cercanos al 100% en todo momento.

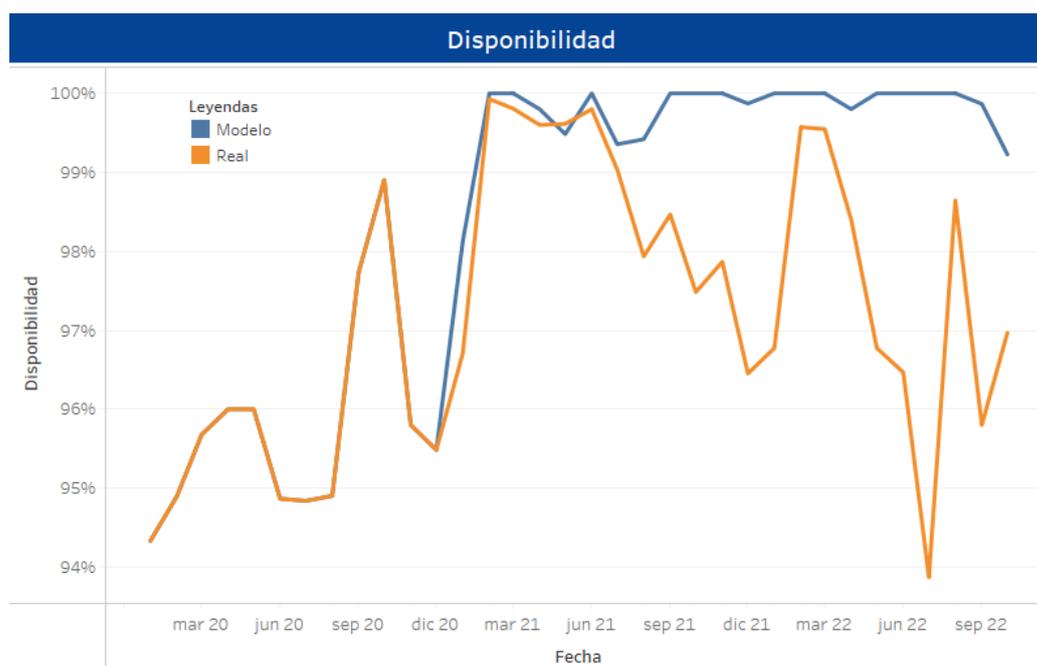


Figura 6.11: Disponibilidad media mensual (modelo base)  
Fuente: elaboración propia

Lo que hace que la disponibilidad del modelo no sea máxima en todo momento son aquellos aumentos considerables en los consumos de ciertas materias primas en cortos períodos de tiempo, lo que lleva a agotar las existencias más rápido que lo previsto. Esto también puede asociarse al nivel de servicio que quiera brindarse: cuanto mayor sea esta aspiración, mayores deben ser los amortiguadores para hacer frente a los consumos más atípicos. Esto puede terminar siendo contraproducente, dado que conlleva a un aumento en los costos de almacenamiento y gestión de stock.

Si se analiza la situación a nivel macro, según la Tabla 6.13, comparando la disponibilidad promedio para cada uno de los años, se observa una mejora de un 1,2% en el año 2021, mientras que en el año 2022 la mejoría es de un 2,6%.

Año	Real	Modelo	Variación
2020	95,9 %	95,9 %	-
2021	98,5 %	99,7 %	+ %1,2
2022	97,3 %	99,9 %	+ %2,6

Tabla 6.13: Disponibilidad media por año (modelo base)

Algo relevante a destacar es que este aumento de disponibilidad de las materias primas se logra a

pesar de que se reduce la cantidad total de inventario, lo que refleja el margen de acción posible en cuanto a disminuir el inventario sin afectar la eficacia productiva. Además, la mejora en la disponibilidad significa una reducción de los quiebres de stock de las materias primas, lo cual, a su vez, contribuye a disminuir las pérdidas de ventas.

### Costos

La Figura 6.12 refleja que, a medida que la disponibilidad de las materias primas incrementa, se tiene una disminución de los costos de quiebre. Al tener un suministro constante y estable de materias primas, la empresa puede cumplir con la demanda del mercado sin atrasos ni pérdidas de ventas, satisfaciendo en su totalidad los pedidos de los clientes. Esto, además, ayuda a la retención de los clientes existentes así como a la captación de nuevos compradores interesados.

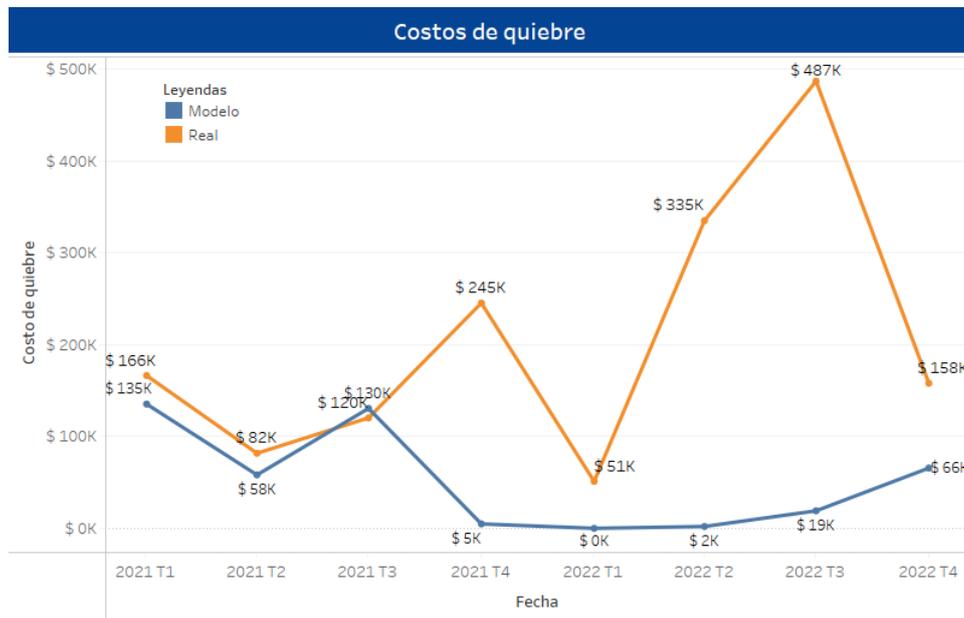


Figura 6.12: Costo de quiebre (modelo base)  
Fuente: elaboración propia

Los costos de quiebres son fundamentales para determinar los costos totales de la empresa, como se puede ver al comparar las Figuras 6.12 y 6.13. En cuanto a los demás costos, el modelo presenta un aumento sensible respecto a la situación real en cuanto a costos de pedidos, asociados a la mayor generación de órdenes de compra. Por otro lado, el costo de almacenamiento presenta menores variaciones entre el modelo y la situación real. En la Tabla 6.14 se muestra la distribución de costos en el modelo base vs. la situación real.

Año	Costo de almacenamiento		Costo de pedido		Costo de quiebre	
	Modelo	Real	Modelo	Real	Modelo	Real
2020	100.081	100.081	384.600	384.600	750.254	750.254
2021	88.385	86.906	637.400	408.000	328.690	613.300
2022	83.255	92.930	709.400	430.200	86.688	1.030.445

Tabla 6.14: Distribución de costos (en \$) en el modelo base y caso real



Figura 6.13: Costos totales (real vs. modelo base)  
Fuente: elaboración propia

### Inventario en exceso

En la Figura 6.14 se muestran comparados los excesos de inventario valorizados. Se puede apreciar como el caso real es notablemente superior al modelo base generado.



Figura 6.14: Comparación del exceso de inventario valorizado total (real vs. modelo base)  
Fuente: elaboración propia

Por otra parte, la Tabla 6.15 refleja los valores máximos, mínimos y el promedio diario del excedente de stock valorizado del caso real y el simulado en el año 2022, luego de un año aplicando el modelo. La Tabla muestra que en el año 2022, la diferencia en el mínimo de exceso diario entre lo real y el

	Real	Base
Máximo	1.363.314	234.825
Mínimo	509.471	57.321
Promedio	901.112	138.795

Tabla 6.15: Comparación del exceso de inventario valorizado

generado en el modelo base es casi un orden menor: mientras en el caso real el mínimo es de \$509.471, en el modelo base es de \$57.321. Al analizar el máximo también se aprecia una diferencia de casi 6 veces el valor de exceso de inventario. En cuanto al promedio, mientras el modelo base mantiene de exceso de inventario un promedio de \$901.112, el modelo base apenas mantiene un inventario en exceso de \$138.795.

Como la cantidad de stock total en unidades disminuye en el modelo respecto al caso real, se muestra que con un manejo más eficiente del inventario se puede no solo reducir el stock total, sino que aumentar la disponibilidad. Todo ello es posible debido al gran exceso de inventario en el caso real, el cual disminuye drásticamente como se aprecia en las Figuras previamente mencionadas.

### Semáforos según amortiguadores

Las Figuras 6.15 y 6.16 muestran el análisis de semáforo de las materias primas MP1 y MP40, mismas materias primas que se utilizaron como ejemplo en la sección análoga del análisis del caso real.

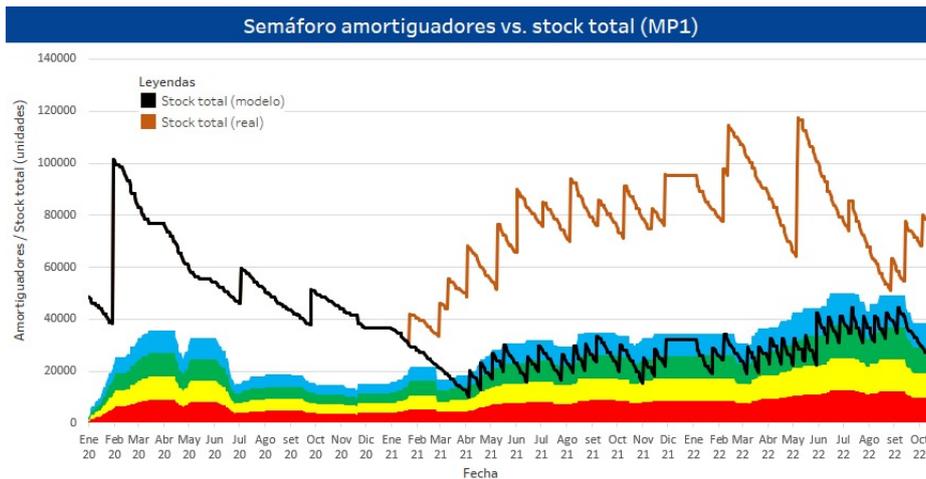


Figura 6.15: Semáforo amortiguador y comparación de stock total (MP1 - Real vs. modelo base)

Fuente: elaboración propia

Nuevamente, los colores utilizados siguen las reglas de asignación descritas anteriormente, mientras que los valores de amortiguadores son los obtenidos con los parámetros del modelo base. En las Figuras, además, se grafica la evolución de stock total tanto del modelo como de la situación real.

En el caso de la MP1 (Figura 6.15), la diferencia real vs. modelo es bastante notoria en cuanto a la cercanía del stock con el amortiguador. Considerando que se trata de una materia prima con un tamaño de lote razonable para lo que demanda en cuanto a consumos, la situación real refleja un stock total excesivamente alto en comparación con el amortiguador.

Por otra parte, la MP40 (Figura 6.16) muestra que, pese a que el modelo intenta llevar el inventario a las zonas de colores buscadas (amarillo/verde), el tamaño de los lotes hace que se genere sobrestock de forma considerable, dado que los mismos son muy superiores a los consumos mensuales que presenta este artículo en particular.

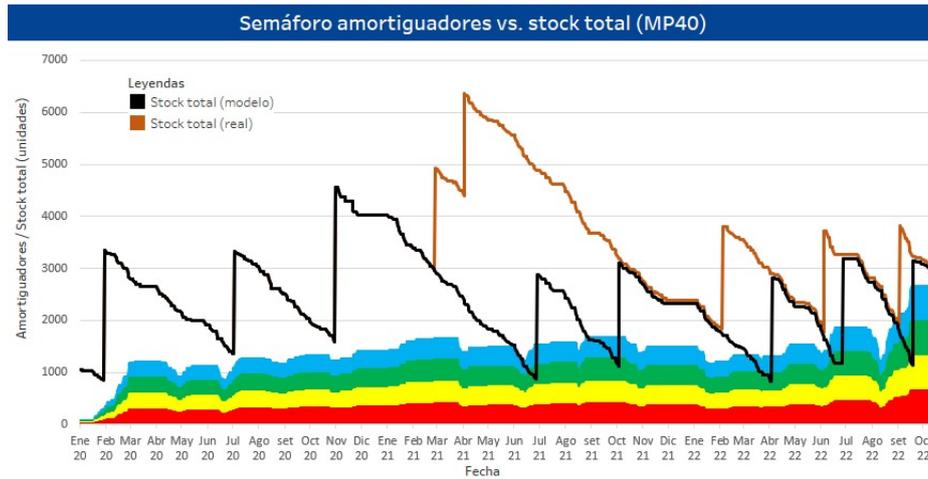


Figura 6.16: Semáforo amortiguador y comparación de stock total (MP40 - Real vs. modelo base)  
 Fuente: elaboración propia

En ambos casos se puede apreciar una reducción considerable del nivel de stock. Además, en el caso de MP1 se puede apreciar que el modelo utiliza lotes constantes y reducidos, con un nivel de recompra inferior al caso real, mientras que la materia prima MP40 el tamaño de los lotes de compra es igual tanto en el modelo base como en el caso real.



# Capítulo 7

## Análisis de sensibilidad

En esta sección, se realiza una discusión en torno a la sensibilidad que tiene la variación de cada uno de los parámetros utilizados en el modelo. De esta forma, se pueden realizar suposiciones acerca del impacto que tienen en los resultados, para poder verificarlas y así identificar la criticidad de cada uno de los parámetros.

Para lograr un mayor entendimiento del impacto de los parámetros en los resultados finales, se decide evaluar a cada uno de ellos por separado.

El estudio se divide en tres secciones: en primer lugar se analiza la frecuencia de pedidos, luego el tamaño de lote y finalmente se estudia la sensibilidad de la ventana de tiempo del amortiguador.

### 7.1. Frecuencia de pedido

#### Introducción

Siguiendo los lineamientos de la Teoría de las Restricciones, para mantener un bajo nivel de inventario total, la frecuencia de pedido ( $FP$ ) no debe ser extensa. En base a eso, la frecuencia de pedido inicialmente se define en 14 días (modelo base).

El propósito de analizar las variaciones de la frecuencia de pedido es examinar el impacto que tiene sobre los costos totales y el inventario. Se plantean tres casos por fuera del modelo base de 14 días: un caso con mayor frecuencia (7 días) y dos casos con menor frecuencia (21 y 28 días).

#### Análisis previo

- Al aumentar la frecuencia de pedido (menor tiempo entre pedidos, en particular se modela con una frecuencia de 7 días entre cada pedido), como consecuencia, se espera que se cuente con menor inventario tanto físico como en tránsito, por el hecho de realizar una mayor cantidad de pedidos de cantidades más pequeñas, permitiendo que el inventario se encuentre en rangos muy cercanos al valor del amortiguador. En este sentido, se entiende que aumentar la frecuencia permite aumentar la capacidad del modelo.

Como contrapartida, la disminución de la frecuencia de pedidos se espera que traiga aparejada un aumento en los costos de transporte. Además, considerando que estos costos tienen mayor relevancia que los costos de almacenamiento, se espera que aumenten los costos totales.

- Por otro lado, al disminuir la frecuencia de pedido (mayor tiempo entre pedidos, se modela con 21 o 28 días entre cada pedido), se espera que los costos asociados al transporte de materia prima disminuyan debido a que habrá menor cantidad de envíos. No obstante, al aumentar el tiempo entre cada pedido, el modelo tiene una capacidad de respuesta más limitada frente a los cambios de consumo de las materias primas, lo cual puede resultar en una disminución de la disponibilidad de dichas materias primas.

Además, se espera un mayor nivel de inventarios, con dientes de sierra más grandes, generados por un gran aumento de stock al momento de ingresar los pedidos en planta, y un mayor período de consumo de las materias primas sin ningún ingreso.

### Inventario valorizado

Simulados los escenarios y las distintas variantes, se procede a analizar los distintos casos planteados. En la Figura 7.1 se puede apreciar que cuanto más frecuente se realicen los pedidos, menor es el stock total valorizado. El caso más desfavorable en cuanto al nivel de stock valorizado se observa cuando la frecuencia de pedidos es de 28 días, donde el inventario total incrementa aproximándose a la situación real, aunque aún con notorias diferencias.

Otra particularidad que se observa, es que cuanto menor sea la frecuencia de pedidos utilizada, el stock total varía en rangos mayores. Esto se debe a que, por un lado, el tamaño de los amortiguadores aumenta conforme disminuye la frecuencia de pedido, llevando a realizar compras de mayor tamaño y por ende, elevando los niveles de inventario. Por otra parte, al ser las revisiones más extensas entre sí, la exposición a mayores fluctuaciones en los consumos aumenta, haciendo posible que el stock llegue a valores más bajos.

Con esto en consideración, y en este aspecto en particular, se entiende que realizar pedidos con mayor frecuencia conduce a otorgar mejores niveles de servicio.

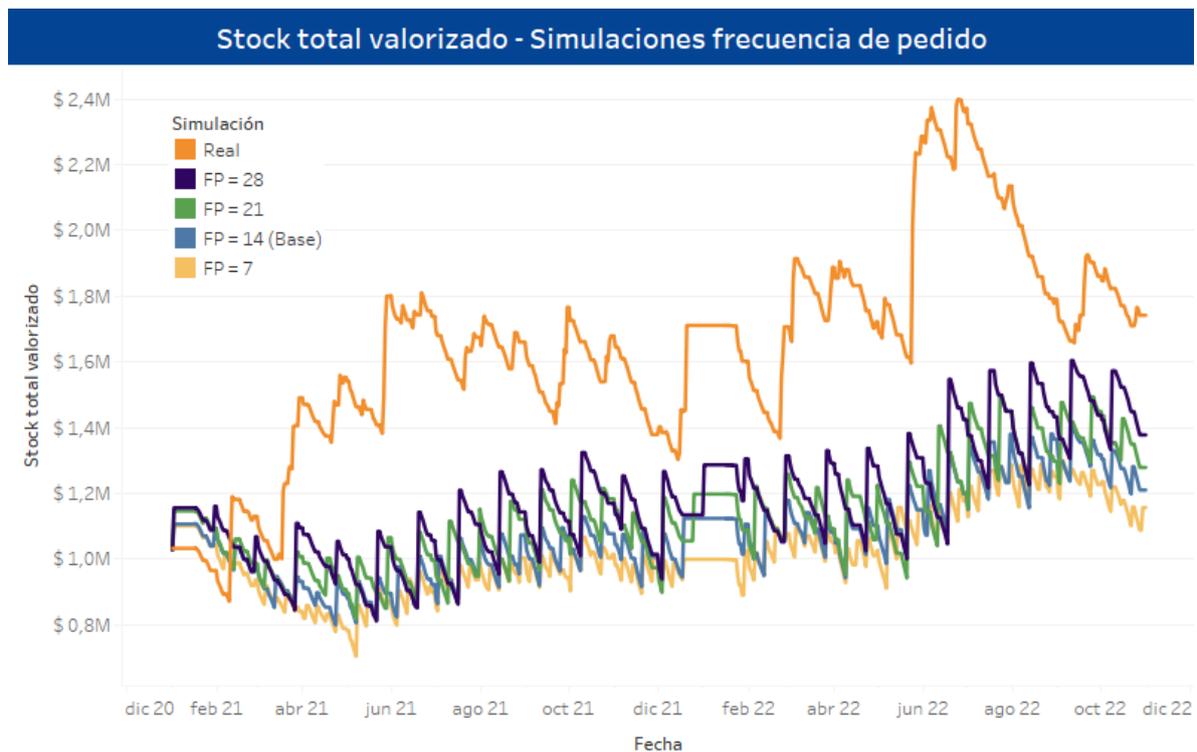


Figura 7.1: Stock total valorizado - Simulaciones frecuencia de pedido

Fuente: elaboración propia

### Disponibilidad

En los casos con una frecuencia de pedido menor a la del modelo base (14 días), es de esperarse que el modelo tenga una capacidad de respuesta inferior ante los cambios de consumo de las distintas materias primas. A pesar del aumento del stock total visualizado en los escenarios con más días entre pedidos, la disponibilidad de las materias primas no es tan buena como en el modelo base.

En la Figura 7.2 se ven reflejadas las disponibilidades de las distintas simulaciones. De allí no se desprenden patrones claros de relación entre la disponibilidad y la frecuencia de pedido utilizada. Igualmente, se entiende que hay factores relevantes que afectan en la disponibilidad obtenida y compiten entre sí: por un lado, al realizar pedidos de forma menos frecuente, si se llega a un quiebre en el inventario, la recuperación se dará en períodos de tiempo mayores. En contrapartida, si la frecuencia de pedidos es menor, significa que se tienen amortiguadores más grandes, y, por ende, también se tiene un mayor inventario (como se muestra en la subsección anterior) haciendo que ante un consumo atípico puntual, se tenga una mayor protección.

En casos donde los consumos de materias primas sean relativamente constantes, se entiende que realizar pedidos con mayor frecuencia llevará a tener un inventario más eficiente. Igualmente, en cualquiera de los casos simulados en este punto, se observa que la disponibilidad se encuentra en rangos muy aceptables (mayor al 98 % en todo momento).

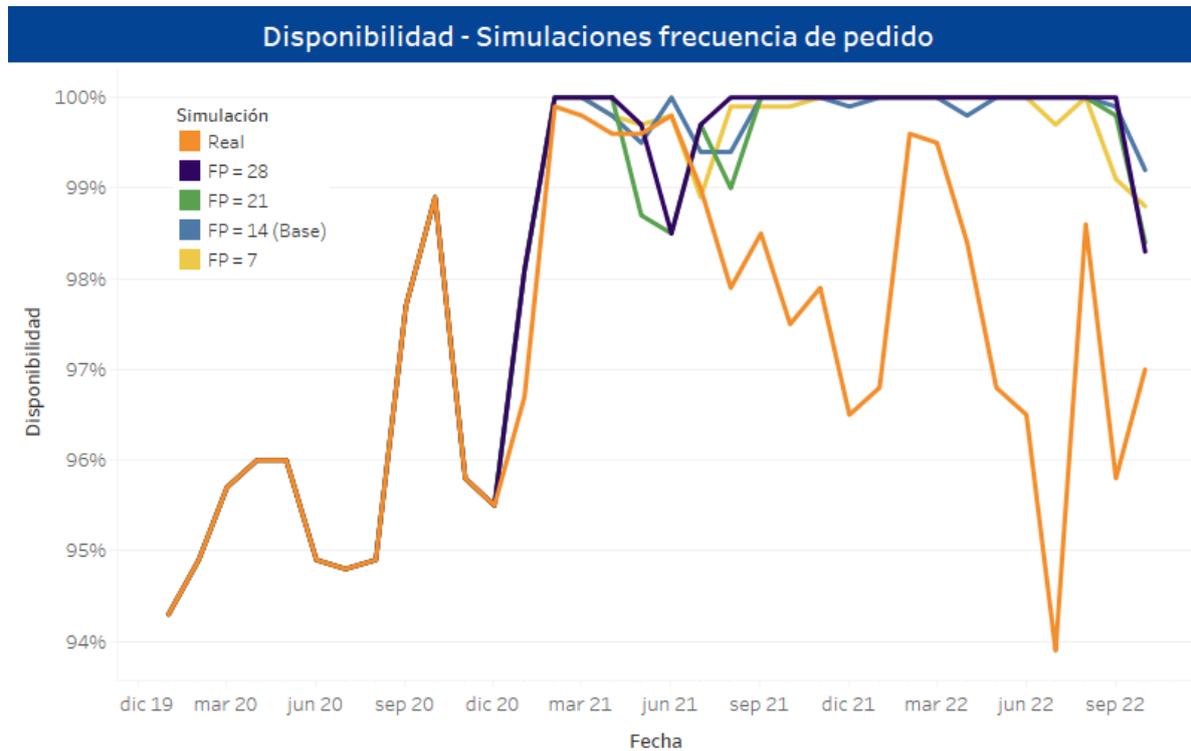


Figura 7.2: Disponibilidad - Simulaciones frecuencia de pedido

Fuente: elaboración propia

### Inventario en exceso

En la Figura 7.3 se puede apreciar el exceso de inventario valorizado en los distintos escenarios con las variaciones relativas a la frecuencia de pedido.

En primera instancia, se observa que los valores de exceso de inventario se encuentran agrupados en rangos muy similares, sin importar la frecuencia de pedido utilizada.

Dentro de las suposiciones consideradas, se esperaba contar con el menor exceso de inventario en el caso donde la frecuencia de pedido es de 7 días. Esto es debido a que, al aumentar la frecuencia de revisión del inventario, se tiende a estar más alineado con el amortiguador, y por ende, el margen de diferencia con el mismo se minimizaría. Sin embargo, realizado el análisis comparativo, el resultado obtenido de exceso de inventario no coincide con lo esperado.

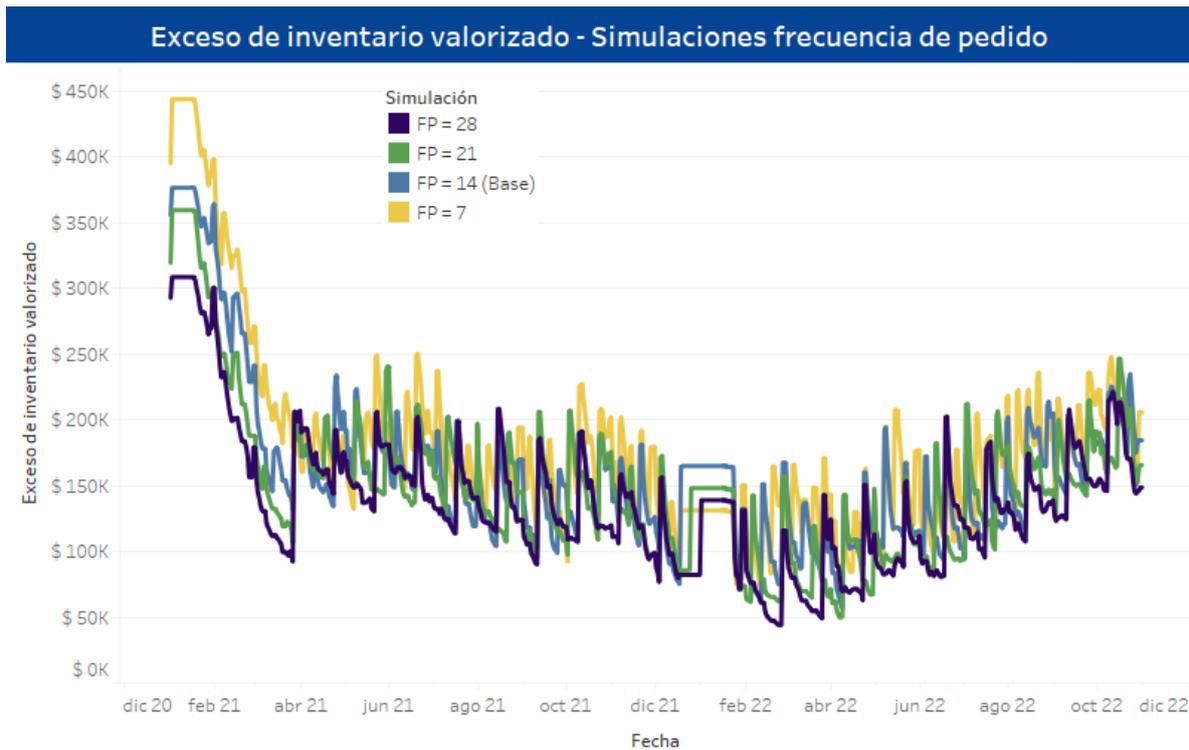


Figura 7.3: Exceso de inventario - Simulaciones frecuencia de pedido  
Fuente: elaboración propia

Si únicamente esta simulación dependiera de la frecuencia de pedido, se obtendría un resultado similar a lo esperado, no obstante, el tamaño de lote tiene un impacto significativo, ya que los pedidos deben ajustarse a las restricciones de los mismos. Revisar el inventario con mayor frecuencia, sin contar con restricciones de tamaño de lote, ayudaría a contar con pedidos más pequeños y ajustados al amortiguador, y consecuentemente, contar con menor diferencia de stock. En el caso de los proveedores de Fanacif que cuentan con restricciones de tamaño de lote, esto conduce a que los pedidos tengan que ajustarse a las restricciones del pedido, y por ende, generar una diferencia importante entre el stock total y el amortiguador. Un aspecto a destacar es que al aumentar la frecuencia de pedido, aumentan los niveles del amortiguador, por lo que se ve aún más incrementado el exceso de inventario valorizado.

Luego, como contraposición, la revisión con menor frecuencia tiende a cumplir de todas formas con la búsqueda de aproximación al amortiguador, con menor capacidad de respuesta ante posibles fluctuaciones en la demanda. Respecto al exceso de inventario, al disminuir la frecuencia de pedido, la relevancia del tamaño de lote disminuye, ya que son menores las revisiones que se hacen, y por lo tanto, el pedido se ve afectado menor cantidad de veces por la restricción del tamaño. Esto lleva a que la diferencia entre el inventario y el amortiguador resulte siendo menor con la disminución de la frecuencia de pedido.

Finalmente, de todas maneras, se puede visualizar para los distintos casos de frecuencia de pedido que el exceso de inventario no suele salirse de un rango bastante acotado de valores, el cual es inferior al caso real.

### Análisis de costos

Al aumentar la frecuencia de pedido, se aumentan los envíos de materias primas y con ello los costos de transporte, lo cual tiene un impacto en los costos totales de la empresa.

La Figura 7.4 muestra los costos totales para cada una de las variaciones de frecuencia de pedido. Dentro de los tres costos a analizar, los dos que sufren mayores variaciones son los costos de transporte y los costos de quiebre:

- El costo de almacenamiento es el que se ve afectado en menor medida. Si bien el inventario varía, no se genera una gran diferencia entre los distintos escenarios, por lo que el costo de almacenamiento se presenta prácticamente invariable.
- Los costos de transporte aumentan proporcionalmente con la cantidad de envíos de materia prima. En este aspecto, la frecuencia de pedidos juega un rol fundamental, dado que a mayor frecuencia de pedido, hay una mayor cantidad de envíos y consecuentemente un mayor costo de transporte.
- El costo de quiebre está directamente asociado con la disponibilidad de las materias primas. Los costos de quiebre incurridos al disminuir la frecuencia de pedidos en los escenarios con 21 y 28 días entre pedidos, se vieron contrarrestados por la disminución de los costos de transporte.

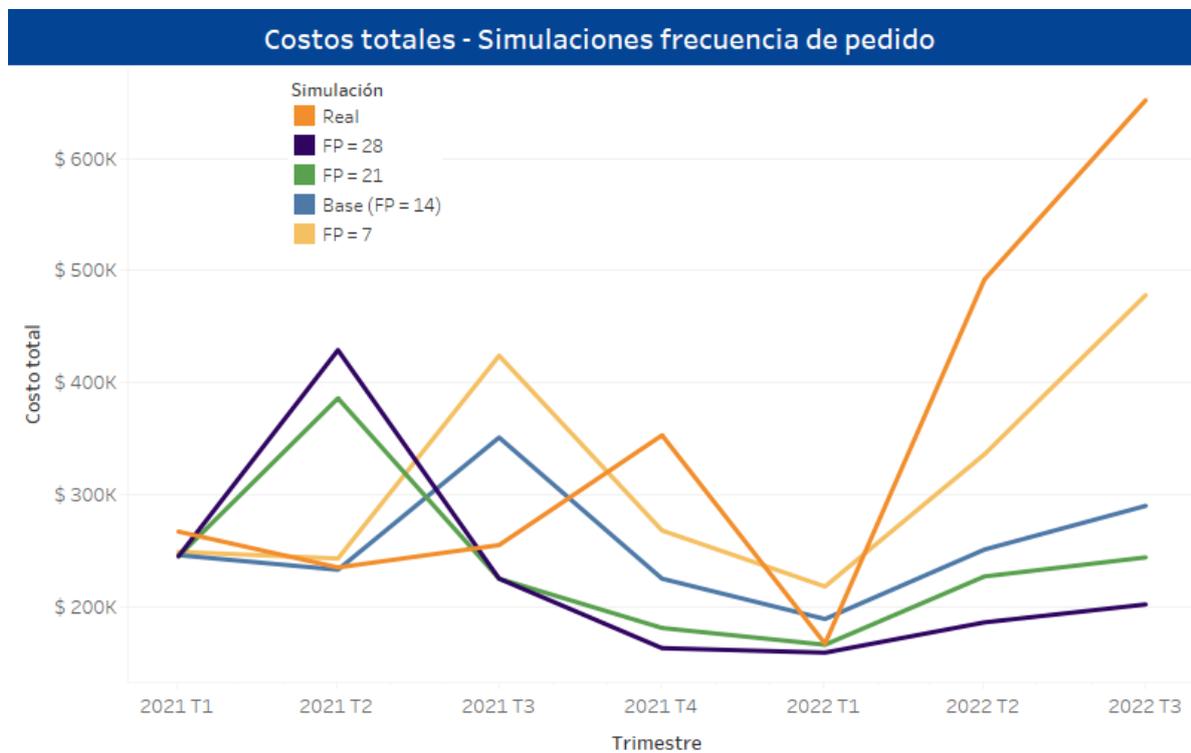


Figura 7.4: Costos totales - Simulaciones frecuencia de pedido  
Fuente: elaboración propia

### Semáforos según amortiguadores

Siguiendo los ejemplos mostrados en el análisis de resultados, en la Figura 7.5 se muestra la evolución del inventario total de la MP1 para el caso de una frecuencia de pedidos de 28 días. De ella, y en comparación con la Figura 6.15 que refleja el caso base, se desprende que aunque se generan menos pedidos, el stock total obtenido del análisis comparativo sigue encontrándose mayormente dentro de zonas de baja prioridad de gestión.

Igualmente, considerando también que se tienen amortiguadores de mayor tamaño, ahora el stock total real se encuentra en valores más cercanos a los de los colores deseados.

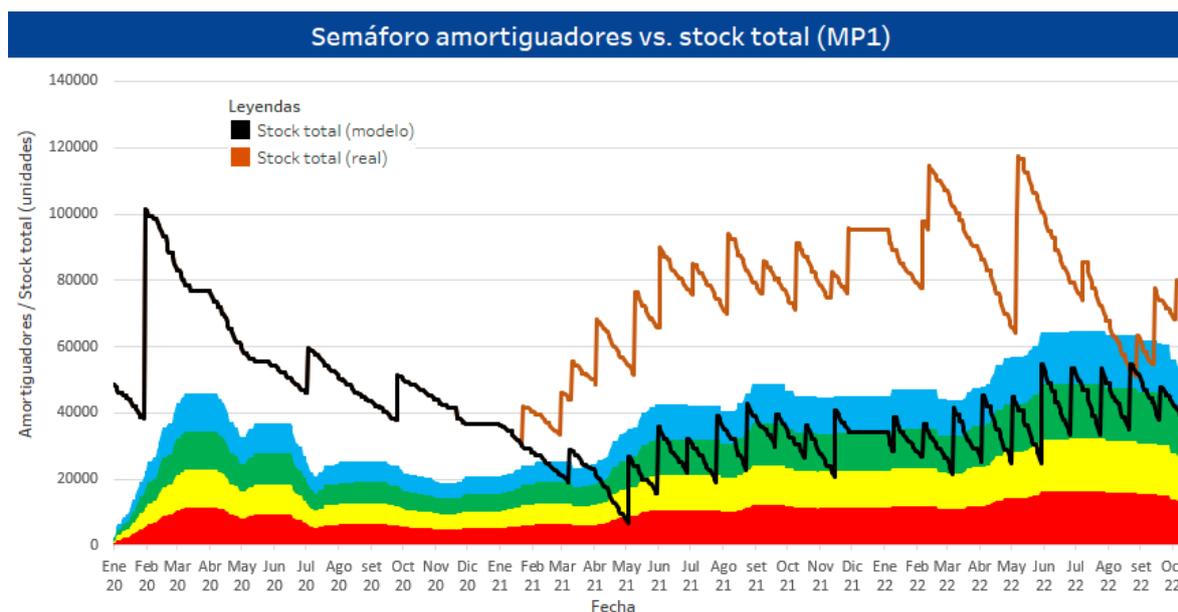


Figura 7.5: Semáforo amortiguador y comparación de stock total (MP1) con FP = 28 días  
Fuente: elaboración propia

### Rotación de inventario

Si se comparan las diversas simulaciones entre sí, se observa que hay una relación entre la frecuencia de pedidos utilizada y la rotación del inventario.

En la Tabla 7.1 se muestra la media de meses de stock obtenidos con cada una de las frecuencias realizadas para las materias primas más relevantes según la clasificación ABC. De allí se desprende que, a menores frecuencias, el inventario tiene una menor rotación, aumentando los meses de stock.

Simulación	Año	
	2021	2022
FP = 7	2,6	2,8
FP = 14 (Base)	2,8	3,1
FP = 21	3,1	3,3
FP = 28	3,3	3,6

Tabla 7.1: Meses de inventario físico en MP con clasificación A - Simulaciones frecuencia de pedido  
Fuente: elaboración propia

En los casos de las materias primas con clasificación B y C se observa el mismo comportamiento, como se muestra en las Tablas 7.2 y 7.3.

Simulación	Año	
	2021	2022
FP = 7	5,7	2,7
FP = 14 (Base)	5,8	2,9
FP = 21	5,9	3,3
FP = 28	6,0	3,5

Tabla 7.2: Meses de inventario físico en MP con clasificación B - Simulaciones frecuencia de pedido  
Fuente: elaboración propia

Simulación	Año	
	2021	2022
FP = 7	11,0	5,2
FP = 14 (Base)	11,2	5,5
FP = 21	11,3	5,7
FP = 28	11,5	5,9

Tabla 7.3: Meses de inventario físico en MP con clasificación C - Simulaciones frecuencia de pedido  
Fuente: elaboración propia

## 7.2. Tamaño de lote

### Introducción

Siguiendo los principios de la Teoría de las Restricciones, para evitar excesos y maximizar el retorno de la inversión, se busca que el tamaño de lote de cada materia prima sea lo mas pequeño posible.

Esto no es lo que ocurre en Fanacif. En varios casos, ya sea por restricciones del proveedor o con la intención de que el costo de transporte se prorratee entre un mayor volumen de materia prima, los pedidos realizados exceden las cantidades consideradas necesarias y se realizan con lotes de gran tamaño, generando niveles de inventario elevados.

Con la finalidad de evaluar la relevancia del tamaño del lote, se procede a analizar la sensibilidad de este parámetro modelando la situación con los lotes mínimos de compra de cada materia prima.

En las materias primas cuyos pedidos se realizan a camión o contenedor completo, se rempazan los lotes de compra al tamaño de un pallet. Se entiende que el pallet es la mínima unidad de compra, ya que un tamaño menor generaría complicaciones en el transporte.

En el 66 % de los casos el lote no se modifica. Esto se debe a que hay casos en los que los proveedores realizan envíos consolidados de materias primas, o se trata de materias primas locales, por lo que se considera que los lotes utilizados en el modelo base de estos artículos ya son lotes mínimos.

Por otra parte, el 33 % restante de los artículos ven reducidos sus tamaños mínimos de lote. En algunos casos, reduciéndose hasta un 96 % respecto al tamaño original. En promedio, la reducción en los lotes afectados es de un 71,4 %.

### Análisis previo

Al reducir el tamaño mínimo de lote en la compra de materia prima, se espera una disminución del nivel de inventarios, al evitar los excesos generados por las compras en gran tamaño.

Por otro lado, al realizar pedidos de menor tamaño manteniendo los consumos, es de esperar que aumenten la cantidad de pedidos realizados y con ello los costos de transporte.

### Inventario valorizado

Como era de esperar, al reducirse el tamaño mínimo de compra, el nivel de stock tiende a reducirse. En la Figura 7.6 se puede apreciar esta reducción en el nivel de inventario total valorizado en comparación al modelo base y a la situación real.

Por otra parte, la Figura 7.7 muestra la variación en porcentaje del valor total del stock valorizado, llegando a una reducción promedio de 6,1 %. En el año 2021 se observa una reducción aproximada de 5,7 % en el stock total valorizado, mientras que en el período analizado de 2022, la reducción es de un 6,6 %.

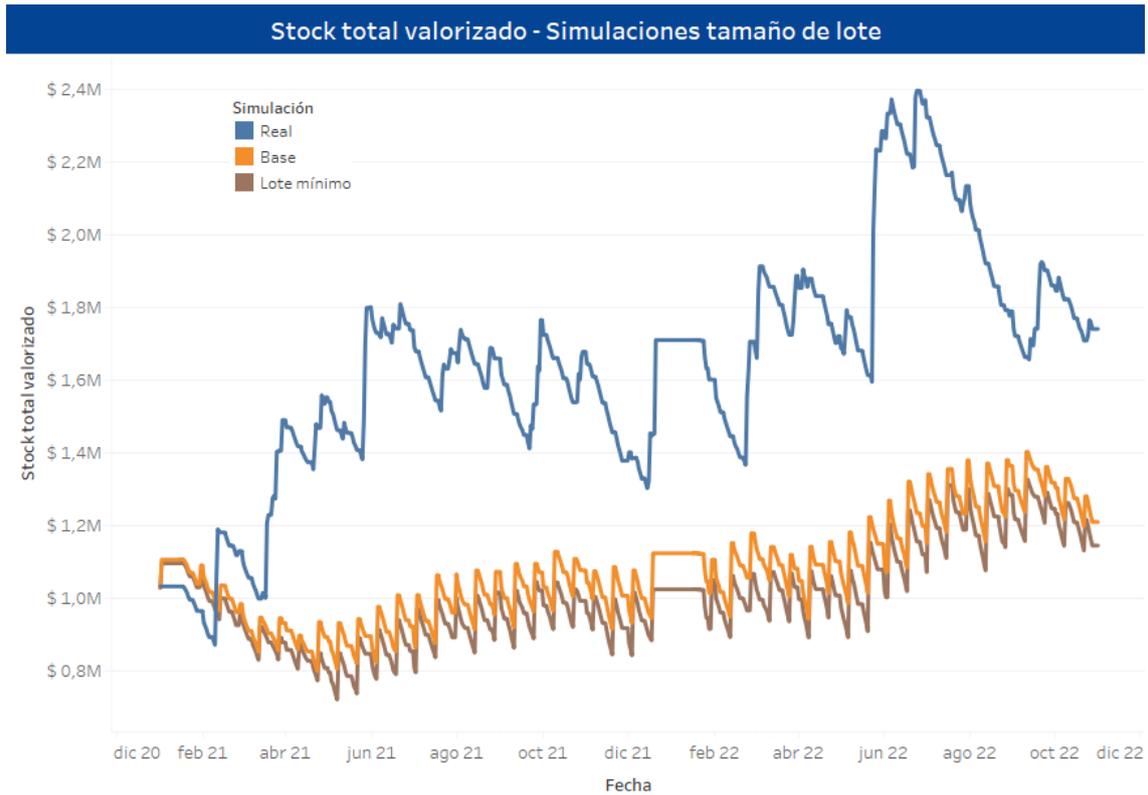


Figura 7.6: Stock total valorizado - Simulaciones lote mínimo  
Fuente: elaboración propia

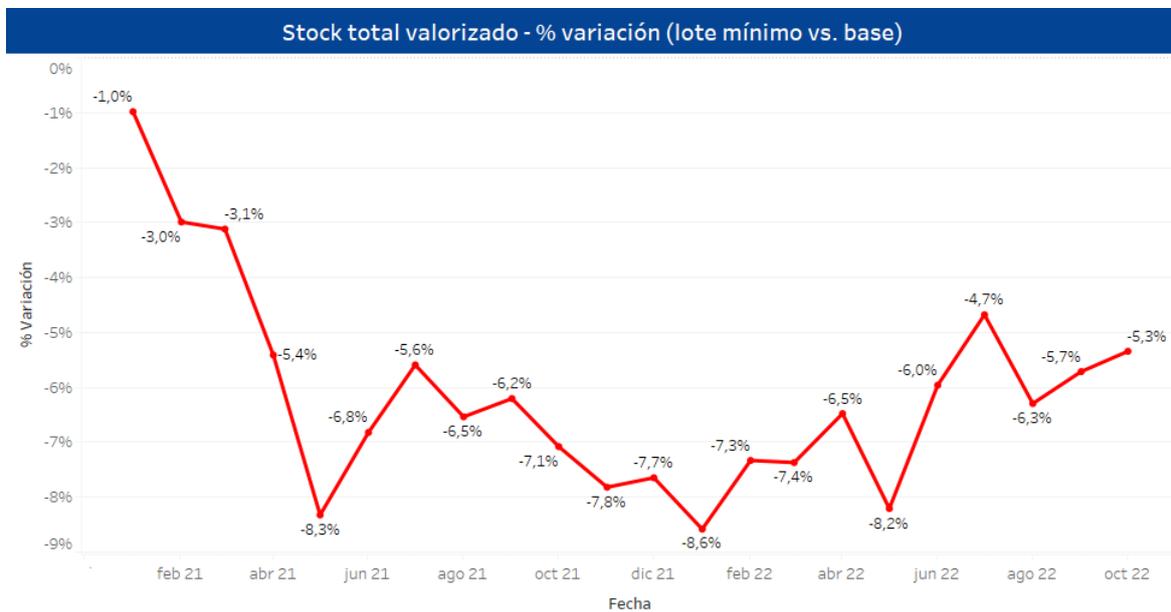


Figura 7.7: Stock total valorizado (% variación) - Simulaciones lote mínimo  
Fuente: elaboración propia

### Disponibilidad

Se puede apreciar que los niveles de disponibilidad se presentan prácticamente invariados (ver Figura 7.8).

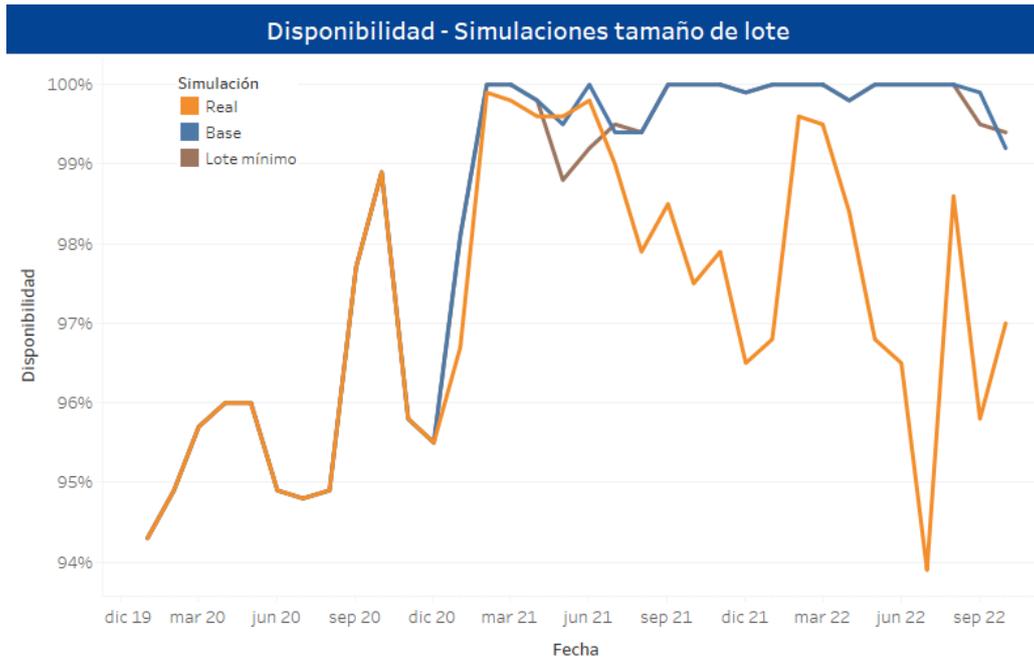


Figura 7.8: Disponibilidad - Simulaciones lote mínimo  
Fuente: elaboración propia

A mayor tamaño de lote, mayor inventario total (como se evidencia en la Figura 7.6), lo cual tiende a generar una mayor cantidad de excedentes. Dicho exceso de inventario también cumple la función de colchón ante aumentos de demanda de las materias primas, por lo que las pequeñas diferencias de disponibilidad, tienden a ser en favor del modelo base.

### Inventario en exceso

Se puede visualizar en la Figura 7.9 como los niveles de exceso de inventario presentan una leve disminución respecto al modelo base. Los dientes de sierra respectivos al exceso de inventario son menos definidos, ya que los lotes son de menor tamaño y los pedidos realizados tienen un menor excedente respecto al amortiguador que en el modelo base.

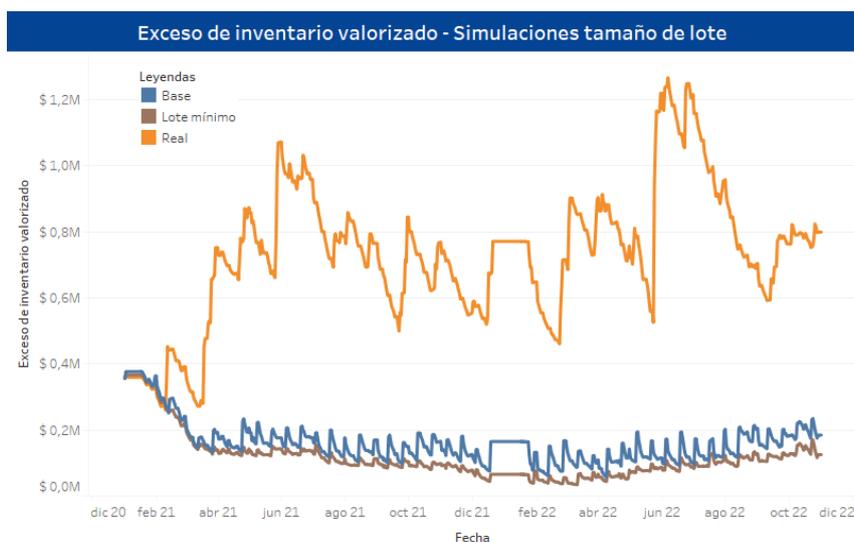


Figura 7.9: Exceso de inventario - Simulaciones lote mínimo  
Fuente: elaboración propia

El mínimo valor en dólares de excedente de inventario ronda los \$34.000, manteniendo en promedio \$117.000 de inventario en exceso desde enero de 2021 hasta la fecha de finalización del análisis comparativo.

### Análisis de costos

En la Figura 7.10 se evidencia un aumento en los costos totales en comparación con el modelo base. Como se menciona previamente, es importante destacar que los costos totales están compuestos por tres componentes:

- Costo de almacenamiento: este es casi que invariable con respecto al análisis comparativo base. Si bien el nivel de inventario se redujo, es en una pequeña proporción.
- Costo de quiebre: al disminuir la disponibilidad, el costo de quiebre aumenta. Considerando que la disponibilidad se mantiene prácticamente idéntica (como se muestra en la Figura 7.8), el aumento es casi despreciable.
- Costo de transporte: este costo genera el mayor cambio en el costo total entre el modelo base y el escenario planteado. Al disminuir el tamaño de los lotes, se realizan una mayor cantidad de pedidos de materias primas de menor tamaño con respecto al modelo base.

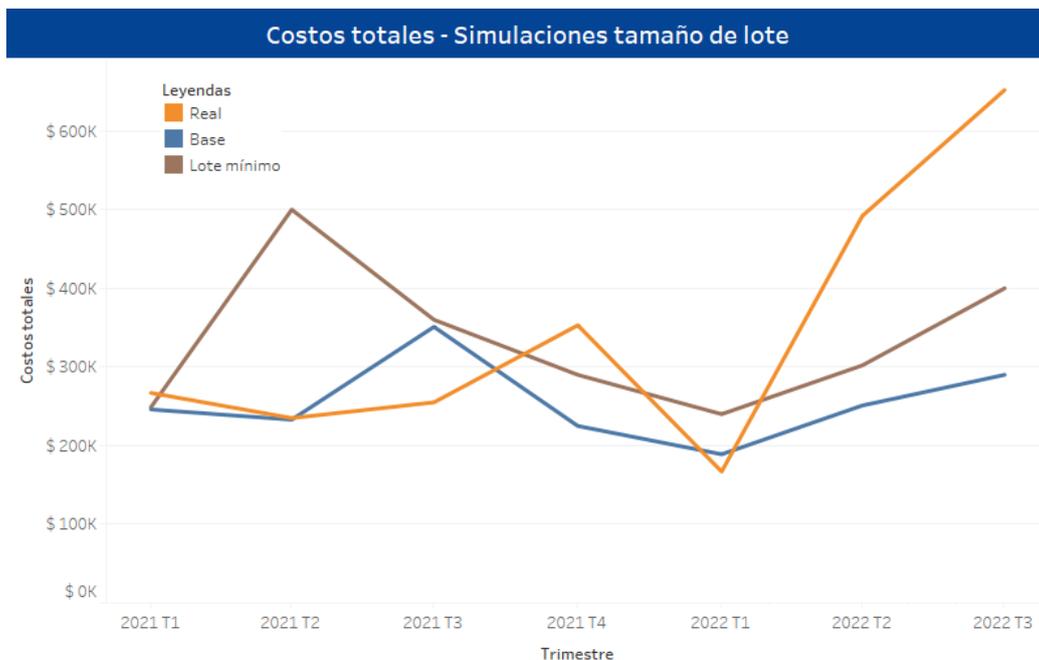


Figura 7.10: Costos totales - Simulaciones lote mínimo  
Fuente: elaboración propia

### Semáforos según amortiguadores

Modificar los tamaños de lote para la generación de pedidos tiende a disminuir el stock total, como se explica en las secciones anteriores.

Si se observa la evolución del stock de la MP40 utilizando lotes mínimos en la Figura 7.11 y se la compara con la Figura 6.16, se observa que disminuyendo el tamaño de los lotes al momento de efectuar las compras, es posible disminuir el inventario a tener, y ubicarse en rangos de colores más cercanos a los deseados.

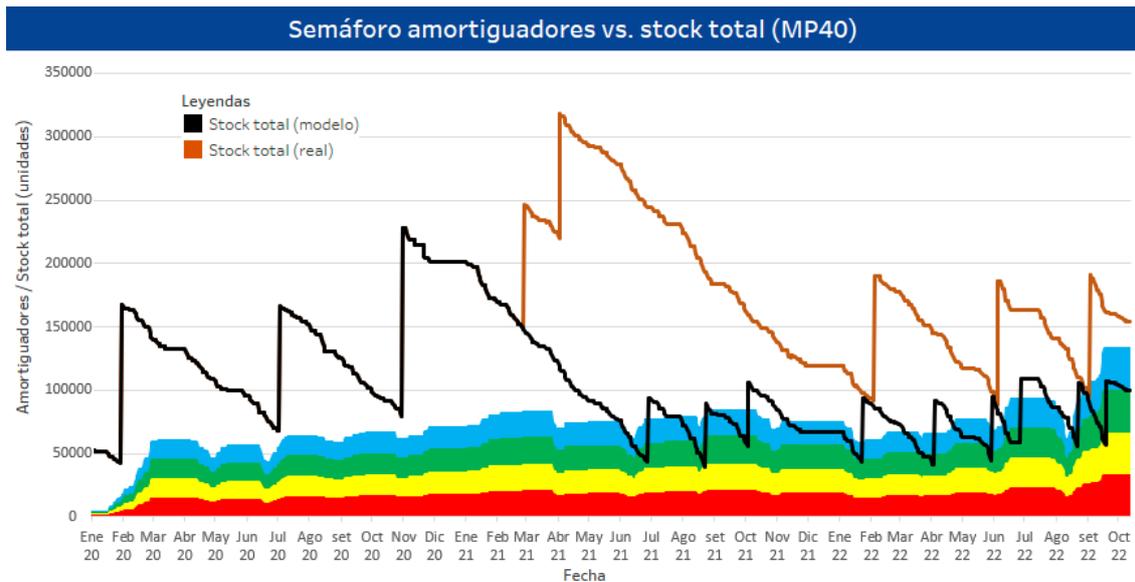


Figura 7.11: Semáforo amortiguador y comparación de stock total (MP40) con lotes mínimos  
Fuente: elaboración propia

Para el análisis de este punto, debe considerarse que la variación de los tamaños de lote no afecta en el tamaño de los amortiguadores, por lo que los beneficios de este caso son notorios respecto al caso base.

### Rotación de inventario

En cuanto a rotación de inventario, la utilización de lotes del menor tamaño favorece a este indicador en particular. En la Tabla 7.4 se muestran los resultados obtenidos en esta simulación para las diversas categorías de la clasificación ABC.

Categoría	Año	
	2021	2022
A	2,7	2,8
B	5,6	2,4
C	11,0	5,3

Tabla 7.4: Media de meses de inventario físico por categoría con lotes mínimos  
Fuente: elaboración propia

Por otra parte, en la Tabla 7.5 se muestra, en términos porcentuales, la variación de los meses de inventario de cada categoría en comparación con el modelo base. Como se puede observar, en todos los casos se obtiene un resultado favorable hacia la utilización de lotes del mínimo tamaño posible.

Categoría	Año	
	2021	2022
A	-6 %	-9 %
B	-4 %	-18 %
C	-2 %	-5 %

Tabla 7.5: Diferencia porcentual de meses de inventario entre modelo base y lotes mínimos  
Fuente: elaboración propia

## 7.3. Ventana de tiempo del amortiguador

### Introducción

Para analizar el impacto de este parámetro en el modelo, se plantean dos escenarios: uno de ellos con un aumento de la ventana a 60 días y en otro con una disminución a 15 días.

### Análisis previo

Al aumentar la ventana del amortiguador se espera obtener una seguridad mayor ante los quiebres de inventario. Al evaluar un mayor período de tiempo, el valor del amortiguador será mayor o igual al obtenido con un período de tiempo menor. Esto implica que, en casos donde el consumo promedio descienda con el tiempo, el amortiguador se ajustará más lentamente.

El riesgo que tiene el hecho de usar ventanas de tiempo muy chicas es que en ciertos momentos, ante una disminución en la demanda de una materia prima, el amortiguador llegue a valores demasiado bajos, lo cuál puede impactar negativamente en la disponibilidad en períodos de tiempo posteriores. Esto puede ser aún más pronunciado en materias primas estacionales o con un uso esporádico, aunque no es el caso de las materias primas estudiadas.

### Evolución de amortiguadores

En la Figura 7.12, se puede apreciar el amortiguador del modelo base, junto con los dos escenarios planteados. Como era de esperar, cuanto menor sea la ventana de tiempo utilizada, menor o igual será el amortiguador. Se puede observar fácilmente que, como máximo, los amortiguadores de los distintos escenarios pueden llegar a encontrarse en un mismo punto, pero nunca cruzarse completamente.

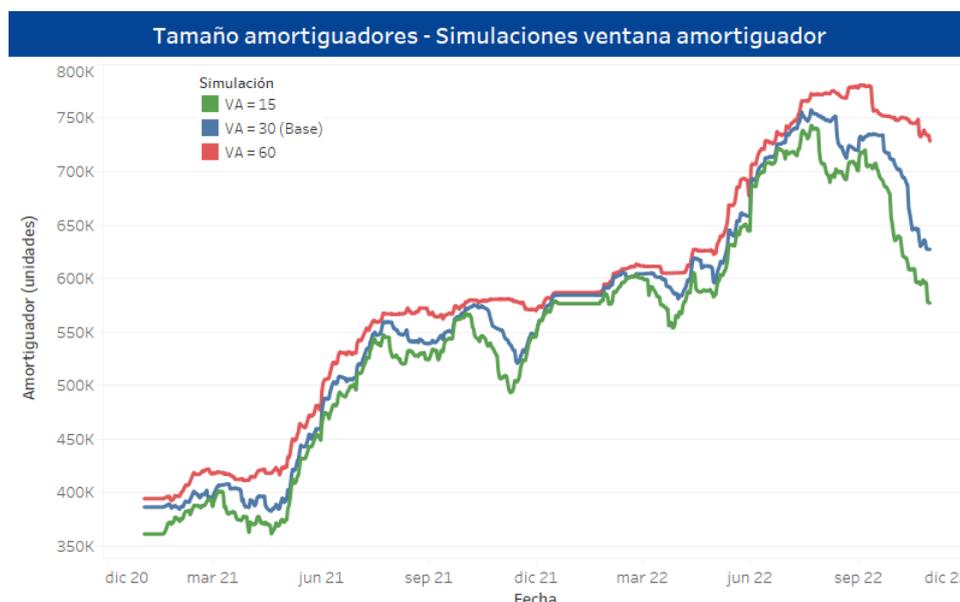


Figura 7.12: Amortiguadores - Simulaciones ventana de amortiguador

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, se puede observar que cuando la demanda de las materias primas aumenta, la respuesta de todos los amortiguadores es similar, aumentando de manera rápida el tamaño del amortiguador.

En contrapartida, cuando la demanda de las materias primas disminuye, se observan las mayores diferencias entre las diferentes simulaciones. Las simulaciones con ventanas de menor tamaño reducen los valores de los amortiguadores de manera más rápida. Esto se puede apreciar tanto al final de la Figura, donde los amortiguadores se distancian, como también en la sección intermedia del gráfico, en el

mes de noviembre de 2021, donde las simulaciones con ventanas de 15 y 30 días disminuyen el tamaño el amortiguador, mientras que el análisis comparativo con 60 días mantiene un nivel relativamente constante.

### Inventario valorizado

En cuanto al stock total valorizado, la Figura 7.13 no muestra grandes variaciones del stock total. La excepción se da al final del período de tiempo analizado, en fechas en las cuales en la Figura 7.12 se muestra una diferencia de tamaño en los amortiguadores más considerable, ante una caída de la demanda.

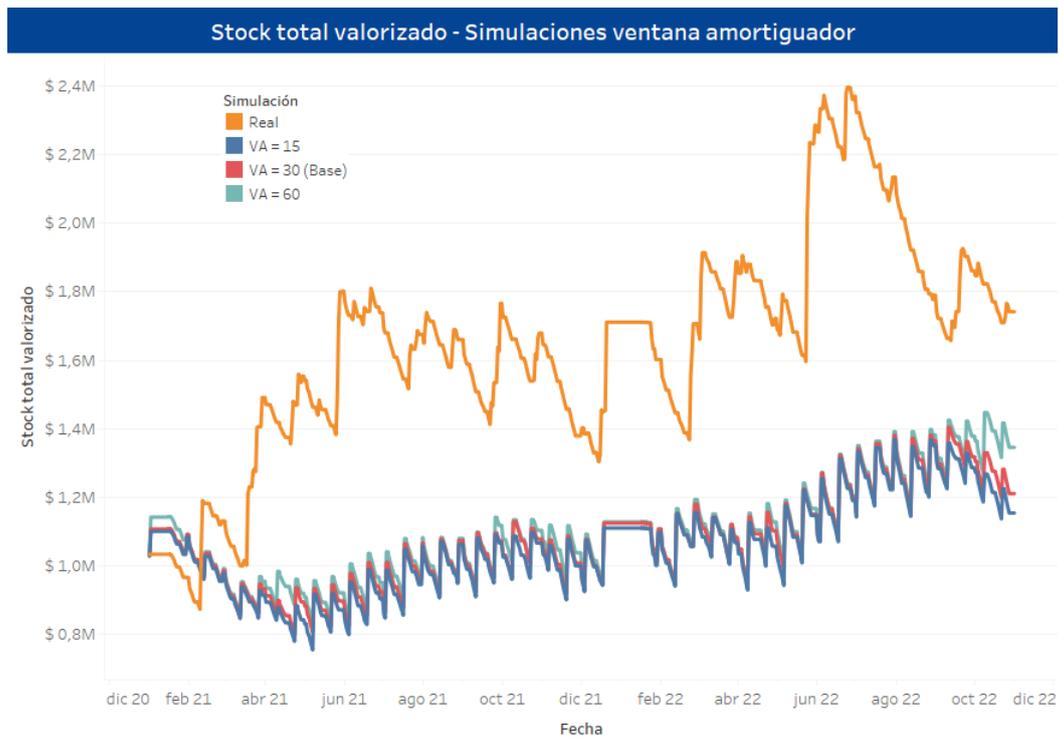


Figura 7.13: Stock total valorizado - Simulaciones ventana de amortiguador  
Fuente: elaboración propia

### Disponibilidad

La Figura 7.14 muestra que la disponibilidad tampoco se ve afectada en gran medida, aunque sí se pueden apreciar algunos quiebres de stock de materias primas en el análisis comparativo cuya ventana de tiempo es de 15 días.

La reducción de la disponibilidad en el modelo con 15 días de ventana, refleja el impacto que puede tener en los amortiguadores los períodos con bajas en el consumo de materias primas, lo cual conlleva a quiebres de stock cuando se recupera el consumo habitual.

### Inventario en exceso

La Figura 7.15 muestra la evolución del exceso de inventario valorizado para cada una de las simulaciones. Al variar la ventana de tiempo, poca es la diferencia entre los distintos escenarios.

Lo que hace que el exceso sea menor cuanto mayor es la ventana utilizada es el hecho de tener amortiguadores más grandes y un stock prácticamente invariable. Con esto en consideración, al tener amortiguadores de mayor tamaño, el exceso de stock de cada materia prima es menor.

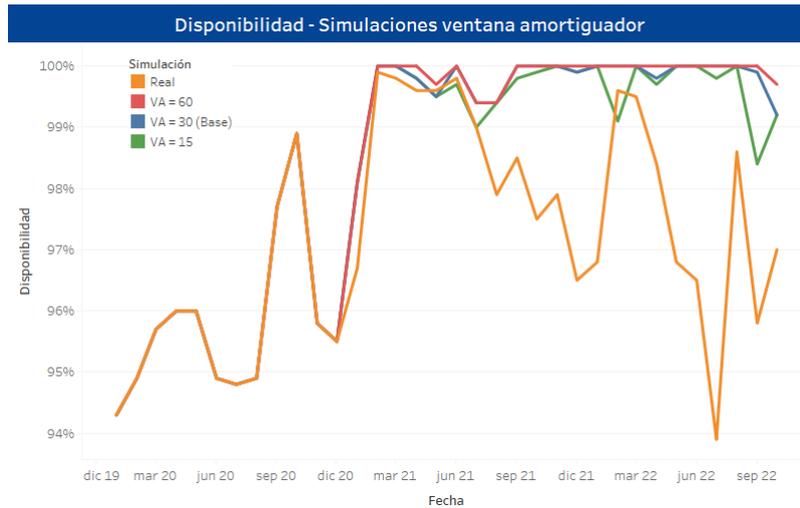


Figura 7.14: Disponibilidad - Simulaciones ventana de amortiguador  
Fuente: elaboración propia

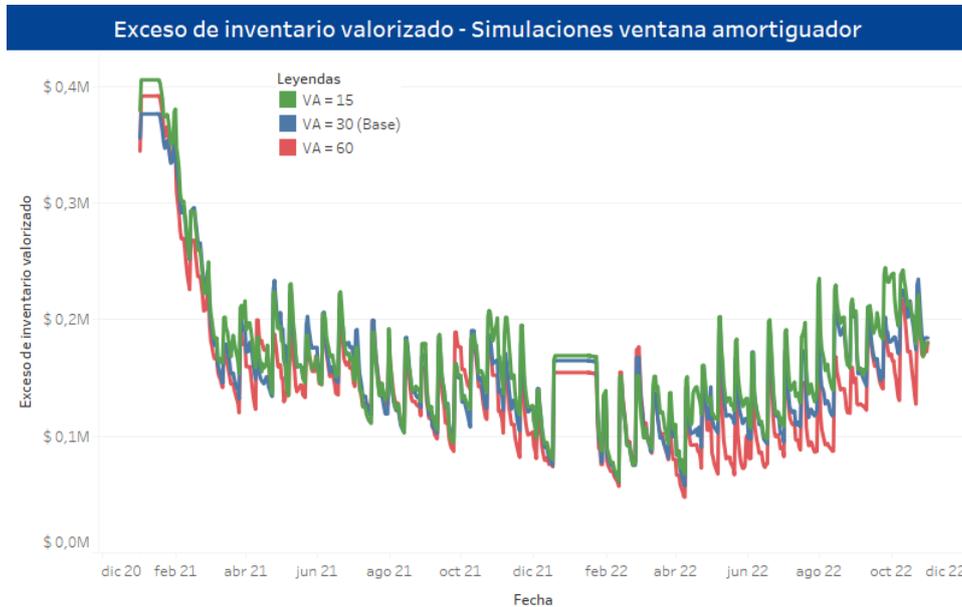


Figura 7.15: Exceso de inventario - Simulaciones ventana de amortiguador  
Fuente: elaboración propia

Igualmente, las diferencias entre cualquiera de estas simulaciones con la situación real son muy significantes.

**Rotación de inventario**

En cuanto a rotación de inventario, las variaciones realizadas en la ventana de amortiguador utilizada no parecen tener demasiado impacto en los meses de inventario de stock físico de las simulaciones realizadas.

Igualmente, como se muestra en la Tabla 7.6, parece haber una tendencia que muestra que a ventanas de mayor tamaño se obtiene una menor rotación en el inventario.

Nuevamente no hay una alternativa que sobresalga sobre el resto de los escenarios. La elección del mejor parámetro depende completamente de la realidad de la empresa y los objetivos de la misma, ya

que cada escenario presenta sus ventajas y carencias con respecto al resto.

Categoría	Simulación	Año	
		2021	2022
A	VA = 15	2,7	3,0
	VA = 30 (Base)	2,8	3,1
	VA = 60	3,0	3,2
B	VA = 15	5,8	2,9
	VA = 30 (Base)	5,8	2,9
	VA = 60	5,9	3,0
C	VA = 15	11,2	5,5
	VA = 30 (Base)	11,1	5,5
	VA = 60	11,2	5,6

Tabla 7.6: Media de meses de inventario físico por categoría y ventana de amortiguador  
Fuente: elaboración propia



## Capítulo 8

# Propuestas de trabajos futuros

- Por la extensión del proyecto, el análisis de los datos se basa solamente en un sector de los insumos utilizados para producir los productos de fricción.

El primer paso evidente para profundizar en el proceso productivo es extender el análisis a todos los insumos utilizados durante la producción y también al depósito de productos terminados.

- Debido a la metodología de pedidos que se da en la empresa, en ciertos casos es posible conocer con anticipación los aumentos de producción de ciertos productos, lo cual puede conllevar a aumentos abruptos de consumo de ciertas materias primas. Se propone buscar una alternativa de anexar al modelo dicha información previniendo posibles quiebres de stock.
- La integración de nuevas tecnologías como sistemas de gestión de cadenas de suministro o un ERP (Enterprise Resource Planning), se podría integrar con la Teoría de las Restricciones, recopilando información en tiempo real.
- Al existir incertidumbre en los procesos de compras, podría resultar interesante buscar implementar modelos de series de tiempo, modelos de regresión, modelos matemáticos, hasta incluso modelos de inteligencia artificial, con el fin de reducir los riesgos inherentes a planificar la demanda.



## Capítulo 9

# Conclusiones

En esta sección final se exponen las conclusiones alcanzadas tras la ejecución del proyecto.

En el presente informe, primeramente se recaba y genera una base teórica acerca de la Teoría de las Restricciones y su aplicación enfocada a la cadena logística. Estos conceptos, presentados de manera detallada en el marco teórico, son la base conceptual de las herramientas utilizadas en el proyecto.

La revisión bibliográfica realizada para el abordaje de la problemática del proyecto nos permite repasar, reafirmar y profundizar sobre diversos conceptos conocidos en el transcurso de nuestros recorridos académicos universitarios.

Otro aspecto a considerar es que la temática expuesta en este proyecto fue presentada por iniciativa de los estudiantes, lo cual supuso una serie de desafíos que nos dejaron múltiples enseñanzas. Además, contar con el apoyo y la experiencia de los tutores resultó clave para el devenir de las etapas del proyecto.

Se destaca que se logra de manera satisfactoria la aplicación de los conceptos de la metodología y su simulación, utilizando datos de una empresa real. Esto brinda la posibilidad de comparar el modelo planteado con la metodología actual llevada adelante por la compañía. De esta manera, se cumple con el alcance planteado al inicio del proyecto.

El análisis comparativo realizado aplicando los conceptos y herramientas de TOC a los datos reales de Fanacif S.A permite demostrar y asegurar que de implementarse los cambios propuestos se van a lograr resultados significativos y beneficiosos para la rentabilidad de la empresa.

La metodología propuesta muestra ser efectiva en la reducción de la cantidad de stock en el orden del 35 %, lo cual contribuye a optimizar los recursos, evitando los altos niveles de stock y los excesos de inventarios. Mejora, además, la disponibilidad de las materias primas, permitiendo satisfacer de mejor forma la demanda de los clientes.

Teniendo en cuenta que el Retorno de la Inversión se puede expresar como la fracción entre Utilidad Neta e Inversión (donde los inventarios son un gran componente), y que esto es también equivalente a la multiplicación entre el margen porcentual y la Rotación de Inventarios (estando integrado el Inventario por productos terminados, semielaborados y materias primas), se puede estimar que si las materias primas son un 30 % de los activos totales, la mejora en el ROI que puede lograr Fanacif con la implementación de este proyecto es del orden del 10 %.

Si se amplía el alcance del proyecto, pasando a abarcar la totalidad del inventario, y se presume que la mejora es consistente con el modelo aplicado para las materias primas, se muestra que Fanacif puede lograr un aumento del ROI de un 53 %. Conclusión: aplicando el proyecto de mejora a la totalidad del inventario, el Retorno de la Inversión de Fanacif podría aumentar en más de un 50 %.

A su vez, dentro de los aspectos más relevantes a destacar, se encuentra la generación de amortiguadores dinámicos e independientes con su debido fundamento teórico para cada una de las materias

primas estudiadas que luego son utilizados en la generación de las compras de las mismas. Estos amortiguadores tienen la capacidad de actualizarse periódicamente en función a diversas características propias de los artículos (como la demanda) y de sus proveedores (como su confiabilidad).

Por otra parte, se entiende que se cumple con el objetivo de evaluar la viabilidad en torno a la aplicación de la metodología, el estudio de los costos asociados en cada uno de los escenarios y las variaciones presentadas al modificar los parámetros asociados al construir el modelo planteado.

Finalmente, en función a las aspiraciones de la empresa, se muestra cómo la variación de los distintos parámetros puede flexibilizar la construcción del amortiguador, para que el mismo se ajuste a la política de la empresa y se obtengan los resultados más adecuados a los objetivos planteados por la compañía.

# Referencias

- How ddmrp can change the way you plan your supply chain. Artículo, a. URL <https://wasolutions.co/en/how-ddmrp-can-change-the-way-you-plan-your-supply-chain/>.
- Distribución sincronizada (pull - toc). Artículo, b. URL <https://www.estrategiafocalizada.com/distribucion-sincronizada/pull-toc>.
- Philip H. Anderson. *Fundamentals of Inventory Management and Control*. AMACOM, New York, NY, USA, 2016.
- ANER. Onyx dbr - software de gestión empresarial, 2019. URL <https://www.aner.com/software-de-gestion-empresarial/onyx-dbr.html>. Consultado el 3 de septiembre de 2023.
- J. R. Tony Arnold, Stephen N. Chapman, and Lloyd M. Clive. *Introduction to Materials Management*. Pearson, Upper Saddle River, NJ, USA, 2018.
- Asana. Qué es la teoría de las restricciones y cuáles son sus principios. <https://asana.com/es/resources/theory-of-constraints>, 2022. Acceso: 18/06/2023.
- AutoDOC. Freno de disco y freno de tambor. <https://www.autodoc.es/info/freno-de-tambor-y-freno-de-disco-funcionamiento-partes-y-diferencias>, 2023. Acceso: 06/07/2023.
- Ronald Ballou. *Logística: administración de la cadena de suministro (Quinta edición)*. Pearson-Prentice Hall, México, 2004.
- Cabezas Bier. Cabezas Bier. <https://cabezasbier.uy/>, 2023. Acceso: 20/06/2023.
- Carlos Alberto Castro Zuluaga, Mario César Velez Gallego, and Jaime Andrés Castro Urrego. Clasificación abc multicriterio: Tipos de criterios y efectos en la asignación de pesos. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 24(2):112–120, 2011. URL <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/4991575.pdf>.
- Cecilia Barría - BBC News Mundo. La emergencia de los contenedores: cómo una de las mayores crisis del transporte marítimo de la historia puede afectar tu bolsillo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-58324770>, 2021. Acceso: 15/03/2023.
- Purushothaman Damodarana Chao Wang Chin-Sheng Chen, Siddharth Mestry. The capacity planning problem in make-to-order enterprises. *Elsevier*, page 1461–1473, 2009.
- Sunil Chopra and Peter Meindl. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson, Upper Saddle River, NJ, USA, 2015.
- CMG. Demand Driven MRP. <https://cmgconsultores.com/demanddrivenscm/demanddrivenmrp/>, 2023. Acceso: 20/06/2023.
- Ismaira Contreras. Análisis de la rentabilidad económica (roi) y financiera (roe) en empresas comerciales y en un contexto inflacionario. 1, 2006.
- James F. Cox III and John G. Schleier Jr., editors. *Theory of Constraints Handbook*. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2010.
- Rein Peterson Edward A. Silver, David F. Pyke. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. John Wiley Sons, New York, NY, USA, 1998.

- Estrategia Focalizada. Dbr: El tambor, amortiguador y cuerda (drum-buffer-rop), 2018. URL <https://www.estrategiafocalizada.com/produccion-sincronizada/dbr-el-tambor-amortiguador-cuerda>. 25/8/2023.
- Fras-Le. Fras-Le. <https://www.fras-le.com>, 2023. Acceso: 20/06/2023.
- A. Ghioldi, F. Ramos, and C. Stevenazzi. Informe de Proyecto Final. Proyecto de fin de curso producción, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería., 2017. URL [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/317024/mod\\_resource/content/3/Informe%20Final%20Ghioldi-Ramos-Stevenazzi.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/317024/mod_resource/content/3/Informe%20Final%20Ghioldi-Ramos-Stevenazzi.pdf).
- GLC. Estrategias almacenamiento. <https://grandlogistics.az/en/blog/Threemainstrategies>, 2023. Acceso: 20/07/2023.
- Eliyahu M. Goldratt. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement (Third Edition)*. North River Press, Great Barrington, MA, 2004.
- Goldratt Institute. BIOGRAPHY OF ELI GOLDRATT. <https://www.toc-goldratt.com/en/biography-of-eli-goldratt>, 2017. Acceso: 20/06/2023.
- Gustavo A. Sánchez Ribero. *Impacto en los indicadores financieros de Generación de Valor al utilizar Teoría de las Restricciones (TOC): caso empírico empresa sector calzado en Colombia*. Escuela de Economía y Finanzas, Universidad EAFIT, Santiago de Cali, Colombia, 2017.
- Mikel Harry and Richard Schroeder. *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. Currency, Nueva York, Estados Unidos, 1999.
- Jay Heizer and Barry Render. *Operations Management*. Pearson, Boston, MA, USA, 2017.
- Historia-Biografía. Eliyahugoldratt, 2023. URL <https://historia-biografia.com/eliyahu-goldratt/>. 19/08/2023.
- F. Robert Jacobs and Richard B. Chase. *Operations and Supply Chain Management*. McGraw-Hill Education, Nueva York, Estados Unidos, 2018.
- P. Fraser Johnson, Michiel R. Leenders, and Anna Flynn. *Purchasing and Supply Management*. McGraw-Hill Education, New York, NY, USA, 2017.
- Microsoft. Excel. <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/excel>, 2023a. Acceso: 20/06/2023.
- Microsoft. Power BI. <https://powerbi.microsoft.com/es-es/>, 2023b. Acceso: 20/06/2023.
- Robert M. Monczka, Robert B. Handfield, Larry C. Giunipero, and James L. Patterson. *Purchasing and Supply Chain Management*. Cengage Learning, Boston, MA, USA, 2019.
- Jaime A. Giraldo y Diana M. Cárdenas Pamela Escobar. Programación de sistemas de producción híbridos, para inventario/bajo pedido, mediante un proceso analítico jerárquico de ordenación grupal (gahpo). *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura*, 23:14, 2012.
- Randoncorp. Randoncorp. <https://www.randoncorp.com>, 2023. Acceso: 20/06/2023.
- SafetyCulture. ¿Qué es la teoría de las restricciones? <https://safetyculture.com/es/temas/teoria-de-las-restricciones/>, 2023. Acceso: 18/06/2023.
- Salesforce. Tableau. <https://www.tableau.com/>, 2023. Acceso: 20/06/2023.
- Eli Schragenheim and H. William Dettmer. *Manufacturing at Warp Speed: Optimizing Supply Chain Financial Performance*. St. Lucie Press, Boca Raton, FL, 2001.
- Roger Schroeder, Susan Goldstein, and Johnny Rungtusanatham. *Administración de operaciones: conceptos y casos contemporáneos (Quinta edición)*. McGraw-Hill, México, 2011.
- Christian Schuh, Michael F. Strohmer, and Stephen Easton. *Supplier Relationship Management: Unlocking the Hidden Value in Your Supply Base*. Wiley, Hoboken, NJ, USA, 2016.

SCM Expertos en logística. FEFO, FIFO, LIFO. CONOCE LAS TÉCNICAS DE GESTIÓN DE ALMACÉN Y CONTROL DE STOCK. <https://www.scmlogistica.es/fefo-fifo-lifo-gestion-almacen-control-stock/>. Acceso: 20/05/2023.

Edward A. Silver, David F. Pyke, and Rein Peterson. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Wiley, Nueva York, NY, USA, 1998.

SimpleSolutions. Ajuste dinámico de amortiguadores. <https://simplesolutions.com.co/ajuste-dinamico-de-amortiguadores/>, 2018. Acceso: 20/06/2023.

Debra Smith and Chad Smith. *Demand Driven Performance: Using Smart Metrics*. McGraw-Hill Education, New York, NY, 2014.

G Álamo and J. Mora. Costos de la Cadena de Suministro en las empresas metal-mecánicas en la costa oriental del Lago. Investigación, Universidad de Zulia, 2013. URL [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/317024/mod\\_resource/content/3/Informe%20Final%20Ghioldi-Ramos-Stevenazzi.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/317024/mod_resource/content/3/Informe%20Final%20Ghioldi-Ramos-Stevenazzi.pdf).



# Anexo

## .1. Clasificación ABC

MP	Promedio stock total valorizado (U\$S)	% Stock valorizado acumulado	% SKUs	Clasificación
MP4	436.177	29%	2%	A
MP1	180.992	41%	4%	A
MP22	96.261	47%	6%	A
MP44	81.864	53%	8%	A
MP9	73.154	57%	10%	A
MP2	70.940	62%	12%	A
MP5	63.487	66%	14%	A
MP38	53.416	70%	16%	A
MP34	46.096	73%	18%	A
MP39	35.692	75%	20%	A
MP48	29.767	77%	22%	A
MP46	28.769	79%	24%	A
MP26	26.134	81%	26%	B
MP32	25.520	83%	28%	B
MP50	22.367	84%	30%	B
MP18	22.083	86%	32%	B
MP12	21.232	87%	34%	B
MP16	19.093	88%	36%	B
MP11	15.751	89%	38%	B
MP15	15.512	90%	40%	B
MP29	15.258	91%	42%	B
MP43	14.877	92%	44%	B
MP17	14.796	93%	46%	B
MP27	10.060	94%	48%	B
MP13	9.846	95%	50%	C
MP6	7.642	95%	52%	C
MP41	7.263	96%	54%	C
MP10	6.235	96%	56%	C
MP31	6.162	96%	58%	C
MP21	5.645	97%	60%	C
MP23	5.274	97%	62%	C
MP7	5.039	97%	64%	C
MP40	4.905	98%	66%	C
MP36	4.886	98%	68%	C
MP45	4.724	98%	70%	C
MP8	4.311	99%	72%	C
MP42	4.295	99%	74%	C
MP20	3.235	99%	76%	C
MP19	2.920	99%	78%	C
MP33	1.496	100%	80%	C
MP37	1.171	100%	82%	C
MP3	1.147	100%	84%	C
MP30	1.137	100%	86%	C
MP28	1.136	100%	88%	C
MP14	873	100%	90%	C
MP24	813	100%	92%	C
MP49	486	100%	94%	C
MP25	382	100%	96%	C
MP47	297	100%	98%	C
MP35	85	100%	100%	C

Tabla 1: Clasificación de materias primas según criterio ABC